



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

**PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH METODE
PRELOADING SISTIM SURCHARGE DAN PONDASI
GENDALO-GEHEM ONSHORE RECEIVING FACILITY DI
TANJUNG SANTAN, KALIMANTAN TIMUR**

ALFIN KAFIA RAHMAN
NRP 3111 100 154

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Noor Endah, MSc., PhD
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, MSc. PhD

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

**PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH
METODE PRELOADING SISTIM SURCHARGE DAN
PONDASI GENDALO-GEHEM ONSHORE
RECEIVING FACILITY DI TANJUNG SANTAN,
KALIMANTAN TIMUR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh:

ALFIN KAFIA RAHMAN

NRP. 3111 100 154

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:


I. Prof. Dr. Noor Endah, MSc, PhD. (Pembimbing I)


II. Prof. Ir. Indrasurya B. M., MSc, PhD (Pembimbing II)

**SURABAYA
JUNI, 2015**

**PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH METODE
PRELOADING SISTIM SURCHARGE DAN PONDASI
GENDALO-GEHEM ONSHORE RECEIVING FACILITY
DI TANJUNG SANTAN, KALIMANTAN TIMUR**

Nama Mahasiswa : Alfin Kafia Rahman
NRP : 3111100154
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Konsultasi : Prof. Ir. Noor Endah, MSc., Ph.D
Dosen Konsultasi : Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar,
MSc., Ph.D

ABSTRAK

Proyek pembangunan Gendalo-Gehem Onshore Receiving Facility (ORF) dilaksanakan untuk mengolah gas dan minyak dari floating production unit (FPU) laut dalam baru, yakni lapangan Gendalo dan lapangan Gehem di Blok Muara Bakau. Gendalo-Gehem ORF akan dibangun di Tanjung Santan dengan luas 31000 m² yang meliputi: Area 1 dan Area 2. Pada Area 1 akan dibangun peralatan Knock Out Drum, Closed Drain Drum, Flare dan Metering Gas. Pada Area 2 akan dibangun peralatan Pig Launcher. Proyek tersebut akan dibangun diatas timbunan setinggi 3,5 – 6,5 m untuk mendapatkan elevasi yang direncanakan yakni pada elevasi +13,5m.

Mengingat tanah dasar dimana proyek tersebut akan dibangun merupakan tanah lempung yang memiliki daya dukung yang kecil, pemampatan yang besar dan waktu konsolidasi yang lama, maka perlu dilakukan perbaikan tanah untuk meningkatkan daya dukungnya dan menghilangkan pemampatannya sebelum ORF dibangun. Peningkatan daya dukung dilakukan dengan memasang geotekstil pada timbunan, sedang pemampatan

dihilangkan dengan memberikan preloading dan PVD untuk mempercepat waktu pemampatannya.

Penimbunan dilakukan secara bertahap dengan kecepatan 60 cm/minggu. Untuk perkuatan tanah timbunan digunakan geotekstile sebanyak 27 lapis pada area 1 dan 9 lapis pada area 2. PVD dipasang sedalam 9,5 m dengan pola pemasangan segitiga dan jarak antar PVD 1,5 m pada area 1 dan 1,1 m pada area 2. Untuk mencapai derajat konsolidasi (U) 90% dibutuhkan waktu 20 minggu untuk area 1 dan 13 minggu pada area 2.

Jenis pondasi untuk peralatan Knock Out Drum, Closed Drain Drum dan Flare di Area 1 adalah pondasi rakit dengan ukuran 15,5 x 28 x 0,7; Untuk peralatan Metering Gas di area 1 adalah pondasi telapak 1,5 x 1,5 x 0,3 m. Sedangkan jenis pondasi untuk peralatan Pig Launcher di area 2 adalah pondasi telapak dengan ukuran 1 x 1 x 0,3 m.

Kata Kunci : Gendalo-Gehem, Onshore Receiving Facility, Surcharge, Prefabricated Vertical Drain, Geotekstil, Pondasi Rakit, Pondasi Telapak.

***SOIL IMPROVEMENT DESIGN USING PRELOADING
SYSTEM SURCHARGE AND FOUNDATION GENDALO-
GEHEM ONSHORE RECEIVING FACILITY IN TANJUNG
SANTAN, KALIMANTAN TIMUR***

Name Of Student : Alfin Kafia Rahman
Student Identity Number : 3111100154
Major Department : Teknik Sipil FTSP-ITS
Supervisor I : Prof. Ir. Noor Endah, MSc., Ph.D
Supervisor II : Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar,
MSc., Ph.D

ABSTRACT

Gendalo-Gehem Onshore Receiving Facility (ORF) construction is aimed to cultivate both gas and oil which come from floating production unit (FPU) deep sea, i.e. Gendolo and Gehem field in Blok Muara Bakau. Gendolo-Gehem ORF are going to be built in Tanjung Santan with 31000 m² area of field which is including area 1 and area 2. Some equipments such as such as Knock Out Drum, Closed Drain Drum, Flare and Metering Gas are going to be built in area 1, and Pig Launcher in area 2. Gendalo-Gehem ORF project are going to be built on 3,5 – 6,5 m height embankment in order to obtain the expected elevation (+ 13,5 m).

According to geotechnical survey results, it was obtained that the area of subgrade is classified as soft clay soil which has low bearing capacity, large number of compression, and wide range of consolidation time. Hence, soil reparation is considered both to increase the bearing capacity and to remove the compression before ORF is built. Geotextile is used as the

enhancement of the bearing capacity whereas PVD and preloading for removing the compression in order to accelerate the compression time.

Landfill operation need to be done gradually for 60cm/week. The soil reinforcement is using 27 and 14 layers of geotextile respectively in area 1 and area 2. The PVD installed in 9,5 m depth with triangle mounting pattern, while 1,5 m spacing for the area 1 and 1,2 m for the area 2. In order to achieve 90% of degree of consoidation, area 1 needs 20 weeks and area 2 meanwhile needs 13 weeks.

Type of foundation for Knock Out Drum, Closed Drain Drum and Flare in area 1 is mat foundation with 15,5 x 28 x 0,7 m in dimension; and for Metering Gas equipment in area 1 is spread footing foundation with 1,5 x 1,5 x 0,3 m in dimension. Besides, Pig Launcher equipment in area 2 uses spread footing foundation with 1 x 1 x 0,3 m in dimension.

Key Words : Gendalo-Gehem, Onshore Receiving Facility, Surcharge, Peafabricated Vertical Drain, Geotextile, Mat Foundation, Spread footing.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Allah SWT karena atas berkat rahmat, kasih dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “***Perencanaan Perbaikan Tanah Metode Preloading Sistem Surcharge dan Pondasi Gendalo-Gehem Onshore Receiving Facility di Tanjung Santan, Kalimantan Timur***” ini dengan baik dan tepat waktu.

Adapun Tugas Akhir ini dibuat dengan tujuan untuk memenuhi syarat kelulusan Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi yang nyata dalam bidang ketekniksipilan.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi atas terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini, diantaranya :

1. Orang tua tercinta, khususnya ibu atas segala dukungan dan doa yang telah diberikan.
2. Semua anggota keluarga yang telah memberikan semangat selama menjalani perkuliahan di Surabaya.
3. Bapak Prof. Ir. Noor Endah, MSc. PhD dan Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, MSc. PhD sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan banyak arahan dan ilmu yang sangat bermanfaat.
4. Keluarga Perkebunan, Bimo Yudha Prawiro, Natalia Indah PP, Teja Dewanti, Emiliani Kristina, M. Bagus Indra P, Satya Wira W., Ade Novan dan Fadliandro Satria.
5. Keluarga Basecamp 57, Fajar Aribisma, Agung Tri A, Alika Pratama, Citra Dewi Y, David L, Daviq YE, Dina Awaliah S, Dwiky B, Norberta Y, Khayrina T, M. Alfiro T, Mikhael T, Raditya D, Revita Alisa, Rian Sutjipto, dan Rizqi Billah
6. Angkatan 2011, Wahyu Widiartha, Dedy Manudianto, Adam Yulian, Himatul Faricha, Angga Pradnyana, Satria Suarmahajaya, Citra Putri Kalingga.

7. Serta seluruh pihak yang menyempatkan hadir pada Seminar Tugas Akhir penulis.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan untuk pengembangan selanjutnya. Akhir kata, semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi generasi berikutnya.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
<i>TITLE PAGE</i>	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	xiv
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan	7
1.4 Batasan Masalah	7
1.5 Manfaat	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Tanah Lempung (<i>Clay Soil</i>)	9
2.1.1 Daya Dukung Tanah Lempung	10
2.2 Pemampatan	10
2.2.1 <i>Consolidation Settlement</i> (S_c)	11
2.2.2 Pemampatan Konsolidasi	13
2.3 Waktu Penurunan Tanah	16
2.3.1 Lamanya Pemampatan Tanah	16
2.3.2 Parameter Tanah untuk Menghitung Waktu Pemampatan Konsolidasi	17
2.4 Metode <i>Preloading</i>	18
2.4.1 Tinggi Timbunan Awal	18
2.4.2 Penentuan Tinggi Kritis	19
2.4.3 Peningkatan Daya Dukung Tanah dengan Metode <i>Preloading</i>	20
2.4.4 Pembebanan Bertahap	21

2.5 Percepatan Waktu Konsolidasi	22
2.5.1 <i>Vertical Drain</i>	23
2.5.2 Menentukan Kedalaman PVD.....	23
2.5.3 Menentukan Waktu Konsolidasi Akibat PVD	24
2.6 Analisis Stabilitas Tepi Timbunan	28
2.6.1 Analisis Stabilitas Tepi Timbunan dengan <i>Software</i> XSTABL.....	29
2.7 Metode Perkuatan Tanah dengan Cerucuk.....	30
2.7.1 Menentukan Jumlah Cerucuk.....	33
2.8 Metode Perkuatan Tanah dengan Geotekstil.....	34
2.8.1 Kondisi <i>Internal Stability</i>	38
2.8.2 Kondisi <i>Overall Stability</i>	39
2.9 Pondasi Dangkal.....	40
2.9.1 Daya Dukung Metode Hansen.....	41
 BAB III METODOLOGI	43
3.1 Bagan Alir	43
3.2 Studi Literatur.....	46
3.3 Pengumpulan dan Analisa Data.....	46
3.4 Perencanaan Aspek-Aspek Geoteknik.....	47
3.5 Cek Stabilitas dan Angka Keamanan	48
3.6 Perencanaan Tepi Timbunan Tanpa Perkuatan	49
3.7 Perencanaan Perkuatan dengan Cerucuk	49
3.8 Perencanaan Perkuatan dengan Geotekstil	49
3.9 Perencanaan Pondasi Dangkal.....	50
3.10 Kesimpulan.....	50
 BAB IV DATA DAN ANALISA	51
4.1 Lokasi Bor Dalam	51
4.2 Analisa Parameter Tanah	52
4.3 Data Tanah Timbunan	53
4.4 Data Spesifikasi Bahan.....	53
4.4.1 PVD (<i>Prefabricated Vertical Drain</i>).....	53
4.4.2 Geotextile	53
4.4.3 Cerucuk.....	54

4.5 Data Beban	54
BAB V PERENCANAAN GEOTEKNIK	55
5.1 Perhitungan Tinggi Inisial	55
5.1.1 Perhitungan Besar Pemampatan	58
5.1.2 Perhitungan Tinggi Timbunan Awal (H _{inisial}) dan Tinggi Timbunan Akhir (H _{final})	54
5.2 Perhitungan Waktu Pemampatan Konsolidasi Tanpa Percepatan	62
5.3 Perencanaan PVD untuk Mempercepat Pemampatan	63
5.3.1 Perhitungan Derajat Konsolidasi Vertikal	63
5.3.2 Perhitungan Derajat Konsolidasi Horizontal	64
5.3.3 Perhitungan Derajat Konsolidasi Rata-Rata	65
5.4 Perhitungan <i>Rate of Settlement</i>	67
5.5 Penimbunan Bertahap	70
5.5.1 Penentuan Tinggi Timbunan Kritis	70
5.5.2 Perhitungan Peningkatan Kohesi <i>Undrained</i>	70
5.5.2.1 Menghitung Tegangan di Tiap Lapisan Tanah untuk Derajat Konsolidasi 100%	71
5.5.2.2 Menghitung Nilai Cu Baru	73
5.5.3 Pemampatan Akibat Beban Timbunan Bertahap	73
5.6 Perencanaan Tepi Timbunan	78
5.6.1 Perencanaan <i>Geotextile</i> Sebagai Perkuatan Timbunan	78
5.6.1.1 Perhitungan <i>Geotextile</i>	78
5.6.1.2 Kebutuhan <i>Geotextile</i>	78
5.6.2 Perencanaan Cerucuk Sebagai Perkuatan Timbunan	82
5.6.2.1 Perhitungan Cerucuk	82
5.6.2.2 Kebutuhan Cerucuk	83
5.6.3 Perencanaan Perkuatan Kombinasi <i>Geotextile</i> dan <i>Cerucuk</i>	85
5.6.4 Perencanaan Tepi Timbunan Tanpa Perkuatan	86
5.6.5 Perhitungan Biaya	87
5.7 Perencanaan Pondasi	88
5.7.1 Analisa Pembebanan	88
5.7.1.1 Analisa Beban Gravitasi	88
5.7.2 Daya Dukung Tanah	90

5.7.3 Kontrol Tebal Plat	94
5.7.3.1 Kontrol Keruntuhan Geser Satu Arah	94
5.7.3.2 Kontrol Keruntuhan Geser Dua Arah (Pons) ...	96
5.7.4 Analisa Beban Gempa	98
5.7.5 Kontrol Stabilitas Bangunan.....	99
5.7.5.1 Kontrol Stabilitas Terhadap Keruntuhan Kapasitas Daya Dukung Tanah	99
5.7.5.2 Kontrol Stabilitas Geser	100
5.7.6 Perhitungan Tulangan.....	102
 BAB VI KESIMPULAN	 107
6.1 Kesimpulan.....	107
6.2 Saran.....	108
 DAFTAR PUSTAKA	
DAFTAR LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Korelasi N-SPT dan Konsistensi Tanah	10
Tabel 2.2 Korelasi antara T_v dan U	17
Tabel 2.3 Nilai Faktor Geotekstil	36
Tabel 2.4 Faktor-Faktor Daya Dukung Untuk Persamaan Daya Dukung Mayerhoff, Hansen, dan Vesic	41
Tabel 4.1 Data Beban <i>Equipment Onshore Receiving Facility</i> ..	54
Tabel 5.1 Hasil Perhitungan <i>Settlement</i> , H_{inisial} , dan H_{final} Akibat Beban Timbunan	59
Tabel 5.2 Hasil Perhitungan <i>Settlement</i> , H_{inisial} , dan H_{final} Akibat Beban Timbunan dan <i>Surcharge</i>	60
Tabel 5.3 Parameter Tanah untuk Perhitungan Waktu Konsolidasi	62
Tabel 5.4 Perhitungan $F(n)$ PVD Pola Segitiga.....	64
Tabel 5.5 Kecepatan Pemampatan tanpa PVD pada Umur Rencana ORF	67
Tabel 5.6 Perubahan Tegangan Efektif Tanah di Area Tinjau 1 Akibat Penimbunan $H = 9.6$ pada $U < 100\%$	72
Tabel 5.7 Perubahan Nilai C_u Akibat Penimbunan $H=9,6$ m Area 1	73
Tabel 5.8 Perhitungan Pemampatan Akibat Tahapan Penimbunan Area 1	76
Tabel 5.9 Perhitungan Panjang Geotekstil pada Area Tinjau 1..	81
Tabel 5.10 Jumlah Kebutuhan Cerucuk Area 1.....	83
Tabel 5.11 Perhitungan Biaya Untuk Elevasi +7	88
Tabel 5.12 Perhitungan Biaya Untuk Elevasi +9.5	88
Tabel 5.13 Perhitungan Biaya Total	88
Tabel 5.14 Beban <i>Equipment</i> Area 1.....	89
Tabel 5.15 <i>Preliminary</i> dan Nilai P Pada Setiap Pondasi	90
Tabel 5.16 Titik Berat Beban <i>Equipment</i> dan Pondasi.....	91
Tabel 5.17 Perhitungan q Ijin Tiap Lapis	94
Tabel 5.18 q_{allow} pada pondasi telapak <i>gas metering, pig launcher</i> <i>16"</i> dan <i>Pig Launcher 20"</i>	94
Tabel 5.19 Tebal Plat Minimum.....	96

Tabel 5.20 Kontrol Geser Pons	97
Tabel 5.21 Tinggi Titik Pusat Massa <i>Equipment</i> dan Pondasi. 98	
Tabel 5.22 Nilai H dan Titik Berat Pada Pondasi <i>Gas Metering</i> dan <i>Pig Launcher</i>	99
Tabel 5.23 Kontrol Daya Dukung Pondasi.....	100
Tabel 5.24 Kontrol Stabilitas Geser	101
Tabel 5.25 Penulangan Pada Pondasi.....	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Gendalo-Gehem ORF	2
Gambar 1.2 <i>Lay Out</i> Gendalo-Gehem ORF	3
Gambar 1.3 Detail ORF Area 1	4
Gambar 1.4 Foto dari <i>Gas Metering Area</i> 1	4
Gambar 1.5 Foto dari <i>Knock Out Drum, Closed Drain Drum</i> dan <i>flare</i>	5
Gambar 1.6 Detail ORF Area 2	5
Gambar 1.7 Foto dari <i>Pig Launcher Area</i> 2	6
Gambar 1.8 Potongan <i>Lay Out</i> Gendalo-Gehem ORF	6
Gambar 2.1 Grafik Faktor Pengaruh Untuk Beban Trapesium ..	15
Gambar 2.2 Grafik Faktor Pengaruh Untuk Beban Persegi	16
Gambar 2.3 <i>Preloading</i>	18
Gambar 2.4 Diagram Tegangan Untuk Pentahapan Penimbunan	22
Gambar 2.5 Pembebanan Bertahap	22
Gambar 2.6 Pemasangan <i>vertical drain</i> pada kedalaman lapisan <i>compressible</i>	24
Gambar 2.7 Pola susunan PVD bujur sangkar	25
Gambar 2.8 Pola susunan PVD segitiga	26
Gambar 2.9 <i>Equivalent</i> diameter (<i>dw</i>) untuk PVD	27
Gambar 2.10 Pembagian Zona Kekuatan Tanah	30
Gambar 2.11 Kurva Variasi Nilai <i>F</i> Dari Berbagai Jenis Tanah	31
Gambar 2.12 Grafik hubungan <i>L/T</i> dan F_M	33
Gambar 2.13 Internal Stability	38
Gambar 2.14 Overall Stability	39
Gambar 2.15 Geotekstil	39
Gambar 2.16 Dasar Teori Daya Dukung Pondasi Dangkal	40
Gambar 3.1 Diagram Alir	43
Gambar 4.1 Lokasi SPT BH-17 dan BH-18	51
Gambar 4.2 Analisa Tebal Tanah yang Mampu Terkonsolidasi Antara BH-17 dan BH-18	52
Gambar 5.1 Potongan Timbunan untuk Area 1 Ditinjau Sebelah Kiri	56

Gambar 5.2 Potongan Timbunan untuk Area 1 Ditinjau Sebelah Kanan.....	57
Gambar 5.3 Grafik Hubungan antara $H_{inisial}$ dan H_{final}	60
Gambar 5.4 Grafik Hubungan antara $H_{inisial}$ dan H_{final} Akibat Beban Timbunan dan <i>Surcharge</i>	61
Gambar 5.5 Grafik Hubungan Antara Derajat Konsolidasi dan Waktu pada Area 1	66
Gambar 5.6 Gambar Hubungan Antara Derajat Konsolidasi dan Waktu pada Area 2	66
Gambar 5.7 Penentuan Kedalaman Pemasangan PVD Area 1...	69
Gambar 5.8 Penentuan Kedalaman Pemasangan PVD Area 2...	69
Gambar 5.9 Grafik Hubungan Waktu dan Pemampatan Area 1	77
Gambar 5.10 Pemasangan Geotekstil pada Area 1.....	80
Gambar 5.11 Pemasangan Geotekstil pada Area 2.....	80
Gambar 5.12 Pembagian Zona Kekuatan Tanah.....	82
Gambar 5.13 Pemasangan Cerucuk Area 1	84
Gambar 5.14 Pemasangan Cerucuk Area 2	84
Gambar 5.15 Pemasangan Geotekstil dan Cerucuk pada Area 1	85
Gambar 5.16 Pemasangan Geotekstil dan Cerucuk pada Area 2	86
Gambar 5.17 Perencanaan dengan slope 1:4 Area 1	86
Gambar 5.18 Perencanaan dengan slope 1:3 Area 2	87
Gambar 5.19 Elevasi pada daerah Proyek.....	87
Gambar 5.20 Layout Pondasi Rakit.....	89
Gambar 5.21 Luas Penampang Efektif.....	92
Gambar 5.22 Luasan Bidang Pengaruh Pondasi	92
Gambar 5.23 Gaya yang Bekerja pada Penampang	95
Gambar 5.24 Bidang Geser Pondasi.....	95
Gambar 5.25 Bidang Geser Pons.....	96
Gambar 5.26 Gaya <i>Horizontal</i> Akibat Gempa	98
Gambar 5.27 Sketsa Gaya <i>qactual</i>	100
Gambar 5.28 Rencana Tulangan Pelat	102

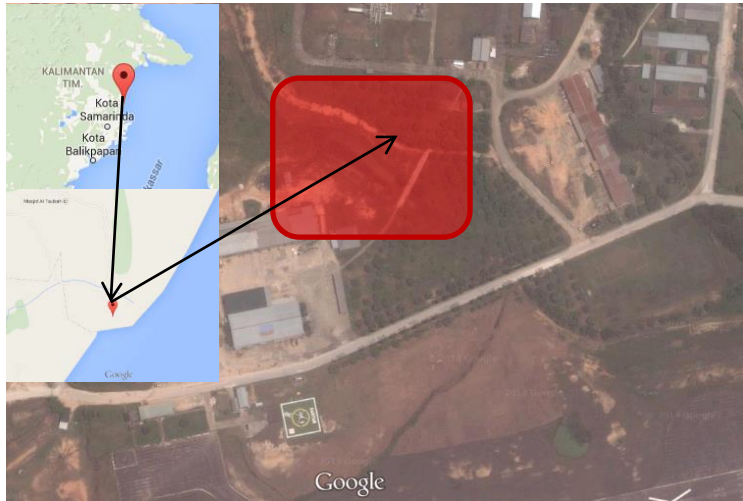
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Minyak dan gas merupakan sumber energi yang memberikan kontribusi penting dalam kehidupan manusia. Permintaan terhadap minyak dan gas bumi yang melebihi jumlah produksinya mendorong industri-industri minyak dan gas untuk melakukan eksplorasi ke daerah-daerah yang mengandung sumber daya alam tersebut. Kebutuhan manusia akan energi yang tak pernah habis ini membuat PT. CPI (Chevron Pasific Indonesia) terus mengembangkan berbagai proyek demi mempertahankan produksi serta meningkatkan perolehan minyak dan gas baik di wilayah daratan maupun laut-dalam

Di wilayah laut dalam, terdapat dua proyek gas alam Gendalo dan Gehem yang terletak di Selat Makassar (Gambar 1.1). Proyek ini meliputi pembangunan dua pusat proyek gas alam, masing-masing dengan unit produksi terapung (*floating production unit/FPU*), pusat pengeboran *subsea*, jalur pipa gas dan kondensat tersendiri yang nantinya akan dikirim ke fasilitas penerimaan darat (*onshore receiving facility/ORF*). Gendalo-Gehem ORF pada proyek pembangunan ini akan berisikan fasilitas pemisahan gas dan minyak, kontrol tekanan, dan gas meter. Gas alam selanjutnya akan di kirim ke Bontang LNG melalui pipa gas.



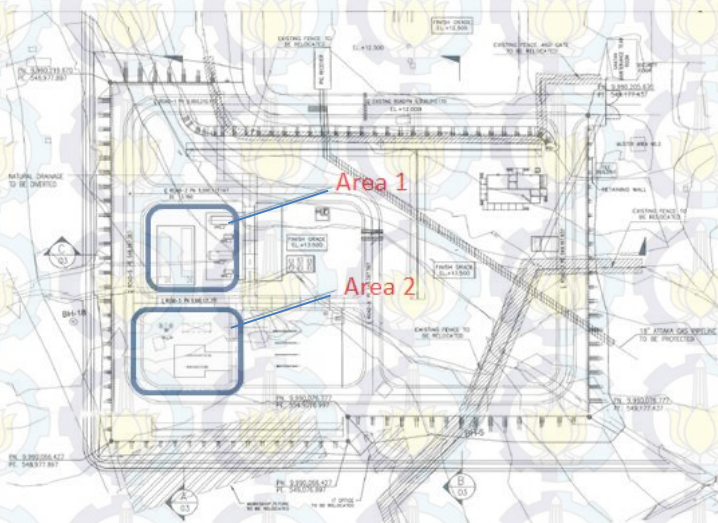
Gambar 1.1 Lokasi Gendalo-Gehem ORF

(Sumber: maps.google.com)

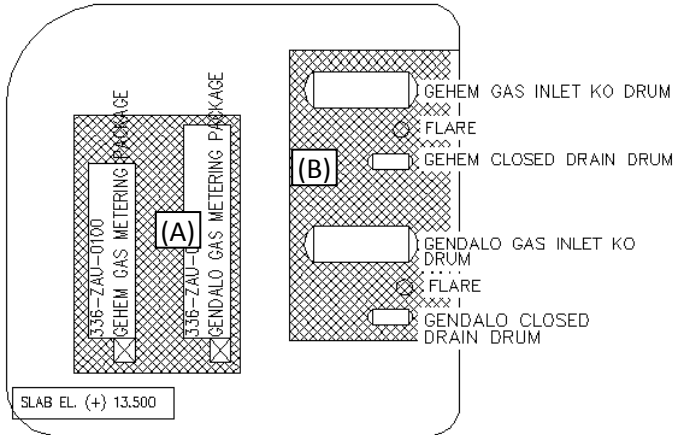
Gendalo-Gehem ORF ini direncanakan dibangun di Tanjung Santan, Propinsi Kalimantan Timur yang sebagian besar wilayahnya memiliki kondisi tanah yang lunak. Pada analisa data tanah didapatkan hasil bahwa tanah tersebut tergolong tanah lembek atau lunak ($N_{SPT} < 5$) sedalam 13 m dan memiliki jenis tanah dominan lempung. Tanah lunak memiliki daya dukung tanah yang kecil, pemampatan yang besar dan waktu konsolidasi yang lama (Das, 1998). Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan tanah untuk meningkatkan daya dukungnya dan untuk menghilangkan pemampatannya.

Dalam tugas akhir ini akan dibahas sistim perbaikan tanah, perencanaan perkuatan tepi timbunan, dan perencanaan pondasi pada proyek Gendalo-Gehem ORF Area 1 dan Area 2 yang akan dibangun di Tanjung Santan diantara fasilitas lain yang sebelumnya telah ada. Proyek Gendalo-Gehem ORF seluas 31000

m² (Gambar 1.2) akan dibangun diatas timbunan setinggi 3,5 – 6,5 m untuk mendapatkan elevasi yang direncanakan yakni pada elevasi +13,5m (Gambar 1.8). Metode perbaikan tanah lunak yang dipakai yakni sistim *preloading* dikombinasikan dengan *prefabricated vertical drain* (PVD) untuk meningkatkan daya dukung tanah dan untuk mempercepat waktu konsolidasi. Perkuatan tepi timbunan menggunakan 3 alternatif perkuatan terpilih antara perkuatan dengan *geotextile*, perkuatan dengan cerucuk, atau perkuatan dengan kombinasi antara cerucuk dengan *geotextile*. Sedangkan pondasi yang akan direncanakan untuk konstruksi *Knock Out Drum*, *Closed Drain Drum*, *Flare*, *Metering Gas*, dan *Pig Launcher* adalah pondasi dangkal jenis rakit (*mat foundation*) atau jenis pondasi telapak.



Gambar 1.2 Lay Out Gendalo-Gehem ORF
(sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul)



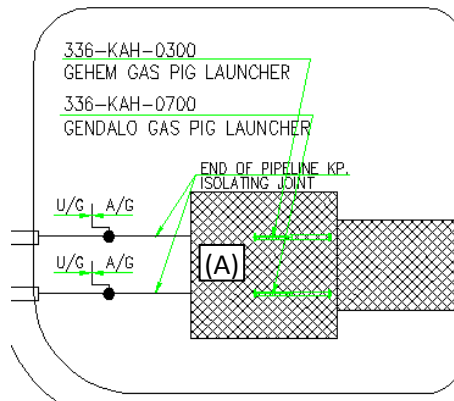
Gambar 1.3 Detail dari Gendalo-Gehem ORF Area 1
 (A) Gas Metering (B) Knock Out Drum, Closed Drain Drum
 dan Flare (sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul)



Gambar 1.4 Foto dari Gas Metering Area 1
 (sumber: www.google.com)



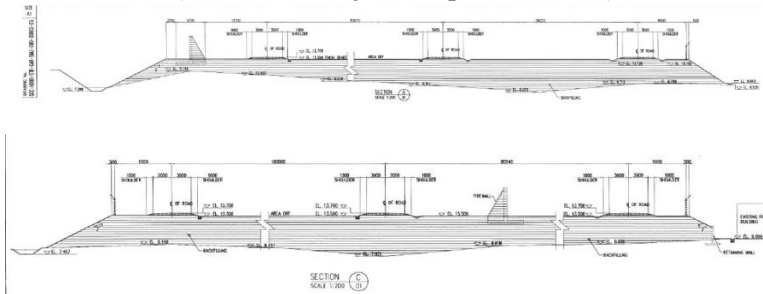
Gambar 1.5 Foto dari *Knock Out Drum*, *Closed Drain Drum* dan *Flare* (sumber: www.google.com)



Gambar 1.6 Detail Gendalo-Gehem ORF Area 2
(A) *Gas Pig Launcher* 16" dan 20"
(sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul)



Gambar 1.7 Foto dari *Pig Launcher* ORF Area 2
(sumber: www.jamisonproducts.com)



Gambar 1.8 Potongan *Lay Out* Gendalo-Gehem ORF
(sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul)

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas maka dirumuskan permasalahan pada pekerjaan perbaikan tanah proyek Gendalo-Gehem ORF sebagai berikut:

1. Bagaimana kemampuan daya dukung dan kemampumampatan tanah di area proyek?
2. Berapa tinggi initial tanah timbunan (termasuk beban *preloading*) agar dicapai elevasi yang direncanakan?
3. Bagaimana perencanaan PVD (*Prefabricated Vertikal Drain*) apabila digunakan untuk mempercepat konsolidasi tanah?
4. Berapa kemiringan tepi timbunan yang dibutuhkan agar stabil tanpa perkuatan?
5. Jenis perkuatan apa yang digunakan di tepi timbunan apabila kemiringan timbunan 1:2?
6. Jenis pondasi apa yang efisien untuk digunakan sebagai penopang strukur ORF?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah untuk merencanakan perbaikan tanah dan perencanaan pondasi pada *Onshore Receiving Facility* Gendalo-Gehem agar stuktur yang dibangun diatasnya tidak mengalami pemampatan dan kondisinya stabil (tidak mengalami keruntuhan) karena pondasi yang direncanakan telah sesuai untuk memikul beban diatasnya.

1.4 Batasan Masalah

Dalam perencanaan ini terdapat beberapa batasan masalah, yaitu:

1. Tidak memperhitungkan volume tanah yang dibutuhkan
2. Jenis pondasi yang digunakan adalah jenis pondasi dangkal jenis pondasi rakit (*mat foundation*), dan pondasi telapak.
3. Area yang ditinjau sebagai perencanaan perkuatan tanah dan perencanaan pondasi adalah area 1 dan area 2

1.5 Manfaat Penyusunan Tugas Akhir

Hasil perencanaan ini diharapkan dapat digunakan oleh PT. Chevron Pasific Indonesia untuk merencanakan perbaikan tanah lunak dan perencanaan pondasi pada Gendalo-Gehem ORF, Tanjung Santan, Kalimantan Timur sehingga permasalahan yang terjadi pada proyek Gendalo-Gehem ORF seperti *settlement*, stabilitas tepi timbunan dan jenis pondasi dapat diselesaikan dengan baik dari segi teknis, segi biaya maupun segi waktu

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan dijelaskan beberapa teori yang digunakan sebagai acuan dalam perencanaan perbaikan tanah dan pemilihan jenis pondasi yang digunakan pada perencanaan Gendalo-Gehem *onshore receiving facility*. Adapun teori yang menjadi acuan adalah sebagai berikut:

- Tanah Lempung (*clay soil*)
- Pemampatan
- Waktu Pemampatan Tanah
- Metode *Preloading*
- Percepatan Waktu Konsolidasi dengan pemasangan PVD
- Analisis Stabilitas Tepi Timbunan
- Metode Perkuatan Tanah dengan Cerucuk
- Metode Perkuatan Tanah dengan Geotekstil
- Pondasi Dangkal

2.1 Tanah Lempung (*Clay Soil*)

Lempung merupakan salah satu jenis tanah yang didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm (= 2 mikron) (Das, 1985). Lempung Sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung dan mineral-mineral yang sangat halus lain (Das, 1985). Dari segi mineral (bukan ukurannya), yang disebut tanah lempung (dan mineral lempung) ialah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang “menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air” (Grim, 1953)

2.1.1 Daya Dukung Tanah Lempung

Tanah lempung pada lokasi proyek Gendalo Gehem ORF merupakan tanah tergolong lunak dengan nilai $N_{SPT} < 10$ hingga kedalaman 20 m (lihat tabel 2.1). Selain itu, tanah lempung memiliki sifat yang kurang menguntungkan secara teknis bagi pekerjaan konstruksi karena memiliki pemampatan yang besar dalam waktu yang lama.

Tabel 2.1 Konsistensi Tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung)

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, C_u		Taksiran harga SPT, harga N	Taksiran harga tahanan conus, q_c (dari Sondir)	
	kPa	ton/ m ²		kg/cm ²	kPa
Sangat lunak (very soft)	0 – 12.5	0 – 1.25	0 – 2.5	0 – 10	0 – 1000
Lunak (soft)	12.5 – 25	1.25 – 2.5	2.5 – 5	10 – 20	1000–2000
Menengah (medium)	25 – 50	2.5 – 5.	5 – 10	20– 40	2000 –4000
Kaku (stiff)	50 – 100	5.0 – 10.	10 – 20	40 –75	4000 – 7500
Sangat kaku (very stiff)	100 – 200	10. – 20.	20 – 40	75– 150	7500 – 15000
Keras (hard)	> 200	> 20.	> 40	> 150	> 15000

(Sumber : Mochtar, 2006; revised, 2012)

2.2 Pemampatan

Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab-sebab lain. Beberapa atau semua faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang

bersangkutan. (Das dalam Mochtar, 1998) Secara umum, pemampatan pada tanah disebabkan oleh pembebanan yang dapat dibagi dalam tiga kelompok besar, yaitu:

- Pemampatan segera (*immediate settlement*), yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air.
- Konsolidasi primer (*primary consolidation*), yang merupakan akibat keluarnya air pori dari tanah.
- Konsolidasi sekunder (*secondary consolidation*), yang merupakan hasil dari perubahan volume pada tanah berbutir halus akibat penyesuaian plastis struktur tanah.

Besarnya pemampatan tanah total dalam Das (1990), adalah :

$$S_t = S_i + S_{cp} + S_{cs} \quad (2.1)$$

dimana :

S_t = total *settlement*

S_i = *immediate settlement*

S_{cp} = *consolidation primer settlement*

S_{cs} = *consolidation secondary settlement*

2.2.1 Consolidation Settlement (S_c)

Menurut Wahyudi (1997), besar pemampatan tanah akibat konsolidasi primer dari tanah lempung ini tergantung dari kondisi sejarah tanahnya, yaitu *normally consolidated* (NC) atau *overconsolidated* (OC).

- Kondisi *Normally Consolidated* (NC)

Tekanan efektif *overburden* pada saat itu adalah merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah itu. Besarnya pemampatan NC dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_{c\sim} = \frac{H}{1+e_o} \left[C_c \log \left(\frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_o'} \right) \right] \quad (2.2)$$

dimana :

- H = tebal lapisan lempung (*compressible soil*)
 e_o = angka pori awal (*initial void ratio*)
 C_c = *Compression index*
 σ'_o = *Overburden pressure effective*

b. Kondisi *Overconsolidated* (OC)

Tekanan efektif *overburden* yang dialami tanah saat itu lebih kecil dari tekanan yang pernah dialami oleh tanah tersebut sebelumnya. Perumusan pemampatan konsolidasi untuk tanah ini dirumuskan sebagai berikut:

- o Bila : $(p_o' + \Delta p) \leq p_o'$

Maka :

$$S_{c\sim} = \frac{H}{1+e_o} \left[C_s \log \left(\frac{p_o' + \Delta p}{p_o'} \right) \right] \quad (2.3)$$

- o Bila : $(p_o' + \Delta p) > p_o'$

Maka ;

$$S_{c\sim} = \left[\frac{H}{1+e_o} C_s \log \frac{p_c'}{p_o'} \right] + \left[\frac{H}{1+e_o} C_c \log \frac{p_o' + \Delta p}{p_c'} \right] \quad (2.4)$$

dimana :

- H = tebal lapisan lempung (*compressible soil*)
 e_o = angka pori awal (*initial void ratio*)
 C_c = *Compression Index*
 C_s = *Swelling Index*
 Δp = *Surcharge* (besarnya tegangan di muka tanah)
 P_o' = *Overburden pressure effective*
 p_c' = tegangan prakonsolidasi efektif

Apabila lapisan tanahnya heterogen (berlapis-lapis) maka formula perhitungan dapat dilakukan di setiap lapisannya, sehingga totalnya adalah :

$$S_{c\sim} = \frac{H_i}{1 + e_o} \left[C_s \log \left(\frac{\Delta p_i}{p_o' i} \right) \right] \quad (2.5)$$

dimana :

H_i = tebal sub lapisan i

$P_o' i$ = *Overburden pressure* pada lapisan i

Δp_i = variasi tegangan vertikal yang diterima oleh lapisan ke-i

2.2.2 Parameter Tanah untuk Perhitungan *Consolidation Settlement* (S_c)

Berikut ini adalah cara menentukan parameter tanah yang digunakan dalam perhitungan *consolidation settlement* menurut Wahyudi (1997) :

1. Tebal lapisan *compressible*

Tebal lapisan *compressible* (H) yang diperhitungkan adalah yang masih bisa mengalami proses konsolidasi primer, yaitu yang memiliki nilai N-SPT < 10. Sedangkan untuk tanah dengan N-SPT > 10 dianggap sudah tidak mengalami proses konsolidasi primer sehingga tidak perlu diperhitungkan sebagai bagian dari tebal lapisan *compressible* (H).

2. Beban atau *Surcharge*

Surcharge yang dimaksud adalah besarnya beban yang bekerja di atas permukaan tanah asli (*Compressible Soil*) dalam satuan tegangan. Persamaan yang digunakan ditentukan dari distribusi tegangan tanah yang dialami.

$$P_o = \gamma_{timbunan} \times h_{timbunan} \quad (2.6)$$

dimana :

γ_{timbunan} = berat volume dari tanah timbunan

h_{timbunan} = tinggi timbunan

Bila timbunan terendam air, maka dipakai harga γ_{timbunan} efektif (γ'')

3. Distribusi tegangan tanah

Distribusi tegangan tanah adalah pembagian beban yang diterima oleh tanah. Berikut adalah persamaan distribusi tegangan tanah dengan beban trapesium :

Beban bentuk trapesium (panjang menerus)

$$\Delta p_z = I \times q_o \quad (2.7)$$

dimana :

I = faktor pengaruh ditentukan dari Gambar 2.1

q_o = beban terbagi rata di atas luasan

4. *Compression* dan *Swelling Index*

Harga *compression index* (C_c) dan *Swelling Index* (C_s) diperoleh dari hasil tes laboratorium (*consolidation test*).

5. Angka Pori

Angka pori inisial (e_o) diperoleh dari hasil tes laboratorium (*Volumetric* dan *Gravimetric*)

6. *Overburden Pressure*

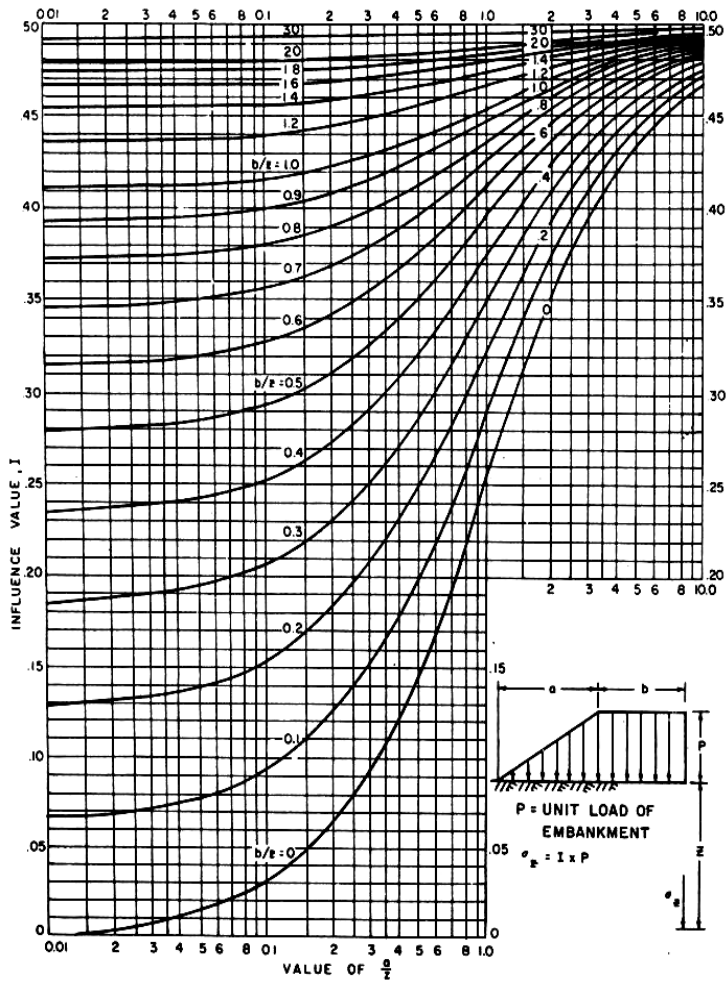
Overburden pressure effective (p_o') adalah tegangan vertikal efektif dari tanah asli, yaitu :

$$P_o' = \gamma' \times h \quad (2.8)$$

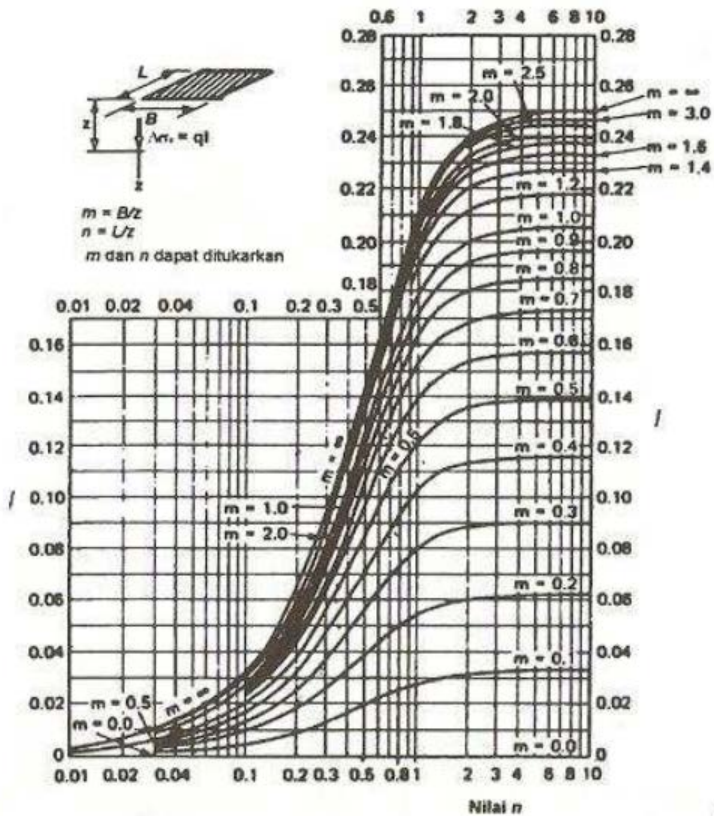
dimana :

γ' = $\gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{air}}$ (bila ada air tanah)

h = setengah dari tebal lapisan lempung yang diperhitungkan



Gambar 2.1 Grafik faktor pengaruh untuk beban bentuk trapesium (sumber : Mochtar, 2000)



Gambar 2.2 Grafik faktor pengaruh untuk beban bentuk persegi (sumber : Mochtar, 2000)

2.3 Waktu Pemampatan Tanah

2.3.1 Lamanya Pemampatan Tanah

Menurut Terzaghi dalam Das (1985), lama waktu konsolidasi (t) adalah sebagai berikut :

$$t = \frac{T_v (H_{dr})^2}{C_v} \quad (2.9)$$

Dimana :

- t = waktu konsolidasi
 T_v = faktor waktu
 C_v = koefisien vertikal (cm²/s atau m²/s)
 H_{dr} = panjang aliran air *drainage* di dalam tanah (m)

2.3.2 Parameter Tanah untuk Menghitung Waktu Pemampatan Konsolidasi

a. Faktor Waktu

Faktor waktu T_v adalah merupakan fungsi langsung dari derajat konsolidasi ($U\%$) dan bentuk dari distribusi tegangan air pori (u) di dalam tanah (aliran satu arah atau dua arah). Apabila distribusi tegangan air porinya merata (homogen) maka hubungan T_v dan U adalah (Tabel 2.2)

Tabel 2.2 Korelasi antara T_v dan U

U(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
T_v	0,008	0,031	0,071	0,126	0,197	0,287	0,403	0,567	0,848	∞

b. Koefisien Konsolidasi Vertikal (C_v)

Koefisien konsolidasi vertikal C_v diperoleh dari grafik korelasi antara besarnya pemampatan tanah dengan waktu (t). Berikut adalah persamaan yang dipakai:

$$C_v = \frac{0.197 (H \times 2)^2}{t_{50}} \quad (2.10)$$

Apabila lapisan tanahnya heterogen dan mempunyai beberapa nilai C_v , maka harga C_v yang dipakai adalah nilai C_v gabungan (ABSI, 1965)

$$C_{vgab} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left[\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}} \right]^2} \quad (2.11)$$

dimana:

h_i = tebal lapisan i

C_{vi} = Harga C_v lapisan i

c. Panjang aliran *drainage* H (H_{dr})

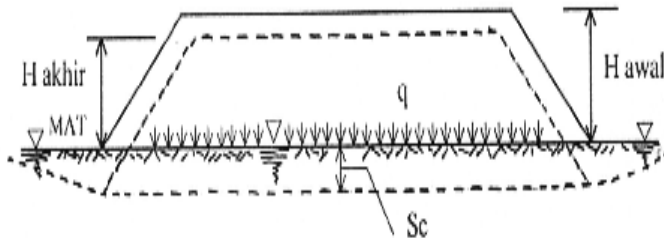
Apabila tebal lapisan lempung (*compressible soil*) kita sebut H , maka panjang aliran *drainage* H_{dr} adalah :

$H_{dr} = \frac{1}{2} H$, bila arah aliran air selama proses konsolidasi adalah dua arah (ke atas dan ke bawah)

$H_{dr} = H$, bila arah aliran *drainage*-nya satu arah (ke atas atau ke bawah). Hal ini terjadi bila di atas atau biasanya di bawah lapisan lempung tersebut merupakan lapisan yang kedap air (*impermeable*)

2.4 Metode *Preloading*

Penggunaan pra pembebanan (*preloading*) dan beban ekstra tambahan (*surchage*) dalam suatu pelaksanaan perbaikan tanah adalah untuk mempercepat terjadinya proses pemampatan.



Gambar 2.3 *Preloading* (Sumber : Mochtar, 2000)

2.4.1 Tinggi Timbunan Awal ($H_{initial}$)

Tinggi timbunan awal pada saat pelaksanaan tidak sama dengan tinggi timbunan rencana. Untuk menentukan tinggi timbunan rencana, memperhatikan besarnya pemampatan yang

terjadi pada tanah asli. Untuk mencari besarnya tinggi timbunan awal ($H_{initial}$) memakai persamaan :

$$q = (H_{initial} - S_c)\gamma_{timb} + S_c\gamma'_{timb} \quad (2.12)$$

$$q = (H_{initial} \times \gamma_{timb}) - (S_c \times \gamma_{timb}) + (S_c\gamma'_{timb}) \quad (2.13)$$

$$H_{initial} = \frac{(q + (S_c \times \gamma_{timb}) + (S_c\gamma'_{timb}))}{\gamma_{timb}} \quad (2.14)$$

$$H_{akhir} = H_{initial} - S_c \quad (2.15)$$

dimana :

$H_{initial}$ = tinggi timbunan awal

H_{akhir} = tinggi timbunan akhir

S_c = total pemampatan tanah akibat timbunan H

γ'_{timb} = berat volume efektif material timbunan

Bila $\gamma_{sat} = \gamma_{timb}$, maka :

$$q = H_{initial} \cdot \gamma_{timb} - S_c \cdot \gamma_w \quad (2.16)$$

$$H_{initial} = \frac{q + S_c \cdot \gamma_w}{\gamma_{timb}} \quad (2.17)$$

2.4.2 Penentuan Tinggi Kritis (H_{cr})

Penentuan tinggi kritis digunakan sebagai beban awal preloading. Untuk menghitung tinggi timbunan kritis pada muka air yang berada di atas muka tanah, memakai persamaan sebagai berikut :

$$H_{cr} = \frac{SF \times Cu \times Nc}{\gamma_{timbunan}} \quad (2.18)$$

dimana :

Cu = kohesi tanah dasar (t/m^2)

N_c = factor kapasitas dukung

γ_{timbunan} = berat volume tanah timbunan (t/m^3)

H_{cr} = tinggi timbunan kritis (m)

Dalam penentuan H_{cr} juga dapat menggunakan program bantu, yaitu XSTABL.

2.4.3 Peningkatan Daya Dukung Tanah dengan Metode *Preloading*

Daya dukung tanah dasar dapat meningkat jika beban timbunan diletakkan secara bertahap sampai mencapai tinggi timbunan kritis (H_{cr}). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Ardana dan Mochtar (1999), diketahui bahwa terdapat hubungan antara kekuatan geser *undrainned* (C_u) dan tegangan tanah vertikal efektif (p_o''). Peningkatan daya dukung tanah akibat pemampatan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

- a. Untuk harga *Plasticity Index*, PI tanah < 120%

$$C_u (\text{kg/cm}^2) = 0,0737 + (0,1899 - 0,0016 \text{ PI}) \sigma_p' \quad (2.19)$$

- b. Untuk harga *Plasticity Index*, PI tanah > 120%

$$C_u (\text{kg/cm}^2) = 0,0737 + (0,0454 - 0,00004 \text{ PI}) \sigma_p' \quad (2.20)$$

Dimana harga σ_o' dalam kg/cm^2

Untuk tanah yang sedang mengalami konsolidasi, harga σ_o' berubah sesuai dengan waktu. Secara umum menurut Ardana dan Mochtar (1999) harga σ_o'' dapat dicari dengan cara berikut ini:

$$\sigma_p' = \left(\frac{p_o' + \Delta p'}{p_o'} \right)^U \cdot p_o' \quad (2.21)$$

Bila : $U = 100 \% = 1$, maka $\sigma_o'' = p_o' + \Delta p'$

$U < 100\%$, maka $\sigma_o'' < p_o' + \Delta p'$

2.4.4 Pembebanan Bertahap

Pembebanan bertahap bertujuan untuk memberikan angka keamanan yang aman ≥ 1 pada saat pengerjaan penimbunan. Besarnya beban *preloading* yang akan diberikan dapat ditentukan terlebih dahulu, kemudian dibandingkan dengan tinggi timbunan yang mampu diterima oleh tanah dasar yaitu H kritis (H_{cr}). Apabila ternyata tinggi timbunan sebagai beban *preloading* yang akan diberikan lebih besar dari H_{cr} , maka timbunan harus diletakkan secara bertahap dengan penundaan agar timbunan stabil atau dengan cara timbunan diberi perkuatan. Langkah-langkah pemberian beban *preloading* secara bertahap adalah sebagai berikut :

1. Menghitung pemampatan yang akan terjadi akibat timbunan setinggi beban tahap 1.
2. Menghitung besar pemampatan untuk dengan rumus dan ketentuan sebagai berikut:

- a. Apabila $p'_o + \Delta p_1 \leq p_c$

$$S_c = \frac{C_s H}{1+e_o} \log \left(\frac{p'_o + \Delta p_1}{p'_o} \right) \quad (2.22)$$

- b. Apabila $p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2 \geq p_c$

$$S_c = \frac{C_s H}{1+e_o} \log \frac{p'_c}{p'_o + \Delta p_1} + \frac{C_c H}{1+e_o} \log \left(\frac{p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2}{p'_o + \Delta p_1} \right) \quad (2.23)$$

- c. Apabila $p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 > p_c$

$$S_c = \frac{C_c H}{1+e_o} \log \left(\frac{p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3}{p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2} \right) \quad (2.24)$$

dimana:

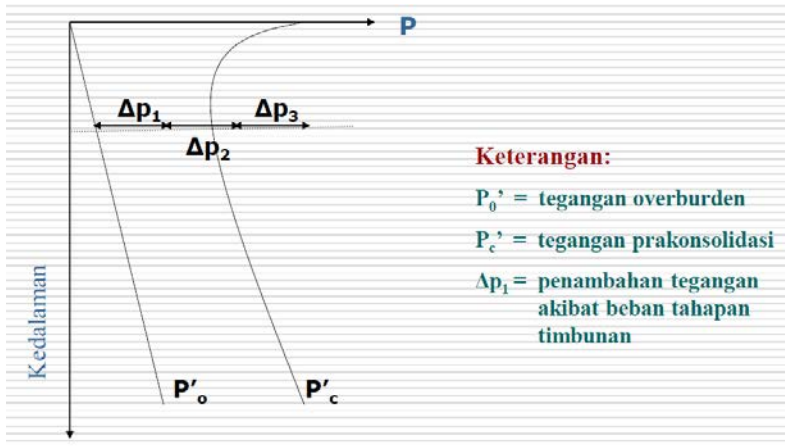
C_c = indeks pemampatan (*compression index*)

C_s = indeks pemuaiian (*swelling index*)

P'_o = tegangan efektif *overburden*

Δp = penambahan tekanan vertical

3. Membuat grafik settlement akibat beban bertahap untuk menentukan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan *consolidation settlement*.



Gambar 2.4 Diagram Tegangan Untuk Pentahapan Penimbunan



Gambar 2.5 Pembebanan Bertahap

2.5 Percepatan Waktu Konsolidasi

Apabila ternyata pemampatan yang direncanakan membutuhkan waktu yang sangat lama, dibutuhkan percepatan dalam proses konsolidasi tanah. Salah satu metode perbaikan tanah untuk mempercepat waktu konsolidasi adalah dengan pemasangan *Vertical Drain*.

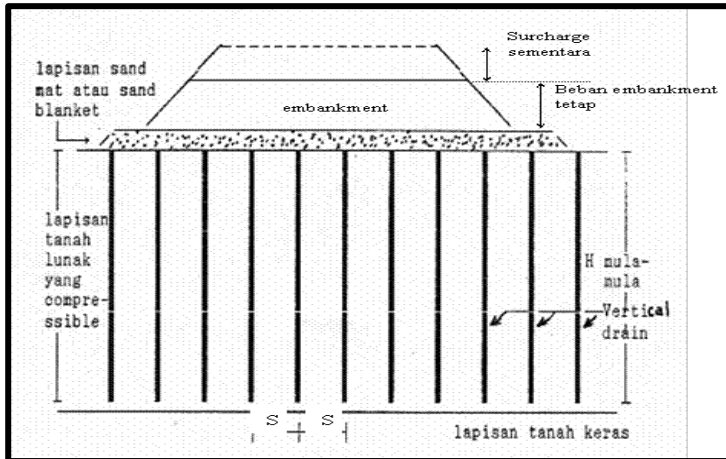
2.5.1 *Vertical Drain*

Fungsi utama digunakannya *vertical drain* dalam suatu lapisan tanah lempung "*compressible*" adalah untuk mempercepat proses konsolidasi primer. Metode perbaikan tanah dengan menggunakan *vertical drain* hakekatnya adalah untuk mereduksi waktu antara dua fase pelaksanaan di saat diterapkannya penimbunan bertahap dan mengurangi waktu yang diperlukan untuk memperoleh derajat konsolidasi

Vertical drain dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) tipe umum, yaitu : *sand drain*, *fabric encased drain*, dan *prefabricated vertical drain* (PVD). Adapun untuk PVD itu sendiri bisa berupa karton, *textile*, plastik, atau material lainnya (bahan karung dan sabut kelapa). Pada umumnya PVD banyak digunakan karena kemudahan pemasangan di lapangan. Tiang-tiang atau lubang-lubang tersebut "dipasang" di dalam tanah pada jarak tertentu sehingga memperpendek jarak aliran drainase air pori (*drainage path*). (Mochtar, 2000).

2.5.2 Menentukan Kedalaman PVD

Kedalaman *vertical drain* ditentukan oleh tebal lapisan tanah yang mengalami konsolidasi (Gambar 2.6), yaitu sedalam H tanah. Besar kedalaman *vertical drain* dalam perencanaan ini dipasang sampai kedalaman tanah *compressible*, yaitu $N-SPT < 10$.



Gambar 2.6 Pemasangan *vertical drain* pada kedalaman lapisan *compressible* (sumber : Mochtar, 2000)

2.5.3 Menentukan Waktu Konsolidasi akibat PVD

Penentuan waktu konsolidasi didasarkan teori aliran pasir vertikal menurut Barron (1948), menggunakan asumsi teori Terzaghi tentang konsolidasi linier satu dimensi. Teori tersebut menetapkan hubungan antara waktu, diameter drain, jarak antara drain, koefisien konsolidasi dan rata-rata derajat konsolidasi. Penentuan waktu konsolidasi dari teori Barron (1948) adalah :

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \cdot Ch} \right) \cdot F(n) \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - \bar{U}_h} \right) \quad (2.25)$$

dimana :

- t = waktu untuk menyelesaikan konsolidasi primer
- D = diameter *equivalen* dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh PVD

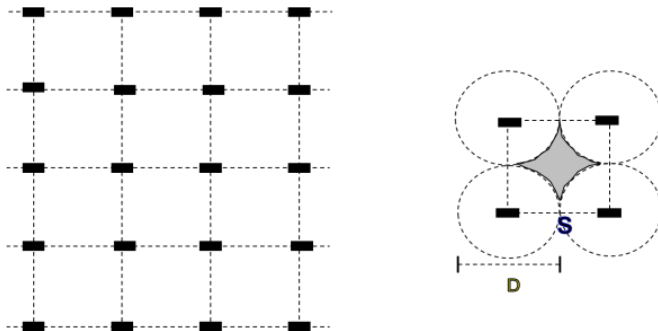
Harga $D = 1,13 \times s$ untuk pola susunan bujur sangkar (Gambar 2.7)

Harga $D = 1,05 \times s$ untuk pola susunan segitiga (Gambar 2.8)

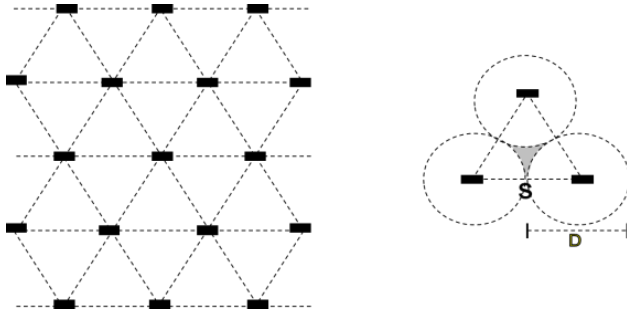
C_h = koefisien konsolidasi tanah horisontal
 $= (k_h/k_v) \cdot C_v$ (2.30)

k_h/k_v = perbandingan antara koefisien permeabilitas tanah dasar arah horizontal dan vertikal, untuk tanah lempung yang jenuh air, harga (k_h/k_v) berkisar antara 2 sampai 5. (sumber : Mochtar, 2000)

$F(n)$ = faktor hambatan yang disebabkan karena jarak antara PVD



Gambar 2.7 Pola susunan PVD bujur sangkar
(sumber : Mochtar, 2000)



Gambar 2.8 Pola susunan PVD segitiga
(sumber : Mochtar, 2000)

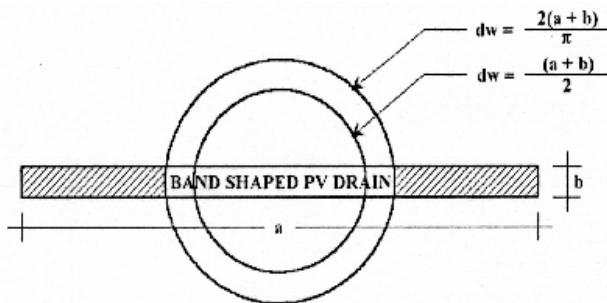
Oleh Hansbo (1979) dalam Mochtar (2000) harga $F(n)$ didefinisikan sebagai berikut :

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1^2} \right) \left[\ln(n) - \left(\frac{3n^2 - 1}{4n^2} \right) \right] \quad (2.26)$$

Atau :

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1^2} \right) \left[\ln(n) - 3/4 - \left(\frac{1}{4n^2} \right) \right] \quad (2.27)$$

dimana :



Gambar 2.9 *Equivalen diameter* (d_w) untuk PVD
(sumber : Mochtar, 2000)

Pada umumnya $n > 20$ sehingga dapat dianggap $1/n = 0$

$$\text{dan } \left(\frac{n^2}{n^2 - 1^2} \right) \approx 1$$

Jadi :

$$F(n) = \ln(n) - 3/4 \quad (2.28)$$

$$F(n) = \ln(D/dw) - 3/4 \quad (2.29)$$

Hansbo (1979) menentukan waktu konsolidasi dengan menggunakan persamaan berikut :

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \cdot Ch} \right) \cdot (2 \cdot F(n)) \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - U_h} \right) \quad (2.30)$$

dimana :

- t = waktu yang diperlukan untuk mencapai U_h
- D = diameter lingkaran
- $F(n)$ = faktor hambatan disebabkan karena jarak PVD
- Ch = koefisien konsolidasi tanah horisontal
- U_h = derajat konsolidasi tanah (arah horisontal)

Dengan memasukkan harga t tertentu, dapat dicari harga U_h pada lapisan tanah yang dipasang PVD. Selain konsolidasi akibat aliran pori arah horisontal juga terjadi konsolidasi akibat aliran air arah vertikal U_v . Harga U_v dicari dengan persamaan :

- o Untuk $U_v > 60\%$:

$$U_v = (100 - 10^a) \quad (2.31)$$

Dimana :

$$a = \frac{1.781 - Tv}{0.933} \quad (2.32)$$

$$\pi = 3.14$$

- o Untuk U_v antara 0 s/d 60% :

$$U_v = \left(2 \sqrt{\frac{tv}{\pi}} \right) \times 100\% \quad (2.33)$$

$$\text{Sedangkan nilai } Tv = \frac{t \times Cv}{(Hdr)^2} \quad (2.34)$$

- o Derajat konsolidasi rata-rata U dapat dicari dengan cara :

$$U = [1 - (1 - U_h)(1 - U_v)] \times 100\% \quad (2.35)$$

2.6 Analisis Stabilitas Tepi Timbunan

Menurut Das 1985, Analisis stabilitas tepi timbunan yang dilakukan dengan cara memeriksa faktor keamanan dari tepi timbunan yang ditinjau, dengan cara membandingkan tegangan geser yang terbentuk sepanjang permukaan bidang retak yang paling kritis dengan kekuatan geser tanahnya. Faktor keamanan didefinisikan sebagai berikut :

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2.36)$$

keterangan :

F_s = angka keamanan rencana

τ_f = kekuatan tanah untuk menahan kelongsoran

τ_d = gaya dorong sepanjang bidang longsor

Das juga menambahkan, kekuatan tanah untuk menahan kelongsoran terdiri dari dua komponen utama yaitu kohesi dan sudut geser tanah, persamaannya sebagai berikut :

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (2.37)$$

keterangan :

C = kohesi

ϕ = sudut geser tanah

σ = tegangan normal rata – rata permukaan bidang
longsor

Dengan demikian dapat dibentuk persamaan sebagai berikut:

$$\tau_d = C_d + \sigma \tan \phi_d \quad (2.38)$$

Keterangan :

C_d = kohesi

ϕ_d = sudut geser yang bekerja sepanjang bidang
longsor

Dengan memasukkan persamaan (2.36) dan (2.35) ke persamaan (2.37) maka diperoleh persamaan (2.38) seperti berikut :

$$F_s = \frac{c + \sigma \tan \phi}{c_d + \sigma \tan \phi_d} \quad (2.39)$$

Persamaan (2.38) dapat diuraikan menjadi dua persamaan yaitu persamaan (2.39) dan persamaan (2.40) sebagai berikut :

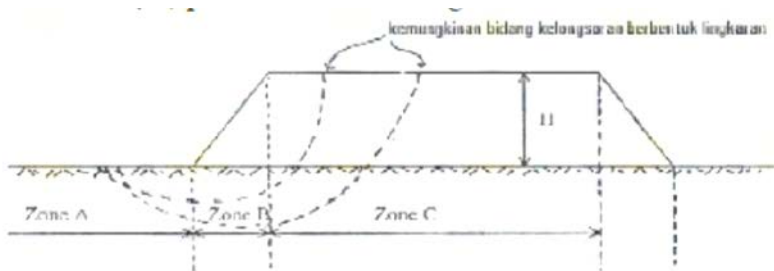
$$F_s = \frac{c}{c_d} \quad (2.40)$$

$$F_s = \frac{\sigma \cdot \tan \phi}{\sigma \cdot \tan \phi_d} \quad (2.41)$$

2.6.1 Analisis Stabilitas Tepi Timbunan dengan *Software* XSTABL

XSTABL adalah program komputer yang ditulis dalam bahasa FORTRAN IV, untuk penyelesaian umum kasus stabilitas lereng metode keseimbangan dua dimensi. Perhitungan faktor keamanan lereng dilakukan dengan metode irisan (disadur dari Modified Bishop Method) dengan bidang longsor berbentuk silinder lingkaran. Keistimewaan XSTABL adalah sepuluh bidang longsor terkritis ditentukan dari input ratusan percobaan jumlah bidang longsor secara random

Dengan menggunakan program bantu XSTABL, dapat menghitung stabilitas timbunan dengan asumsi kondisi kohesi *undrained* (C_u) pada tanah dasar sebagai berikut :



Gambar 2.10 Pembagian Zona Kekuatan Tanah
(Sumber: Mochtar, 2011)

- Zona A = Tanah dalam kondisi masih asli
 $C_u = C_u \text{ asli}$
- Zona B = Zona transisi

$$C_u = \frac{C_{uA} + C_{uC}}{2} \quad (2.42)$$
- Zona C = Tanah terkonsolidasi di bawah timbunan H. σ' di C tergantung pada tinggi H dan kecepatan penimbunan bertahap. C_u di C dihitung menggunakan persamaan (2.19) atau (2.20).

2.7 Metode Perkuatan Tanah dengan Cerucuk

Perbaikan tanah menggunakan cerucuk bertujuan untuk menaikkan tahanan geser tanah sehingga daya dukung dari tanah dasar dapat ditingkatkan. Konstruksi cerucuk yang dapat dipakai antara lain cerucuk bambu, cerucuk kayu dan cerucuk beton (*micropile*).

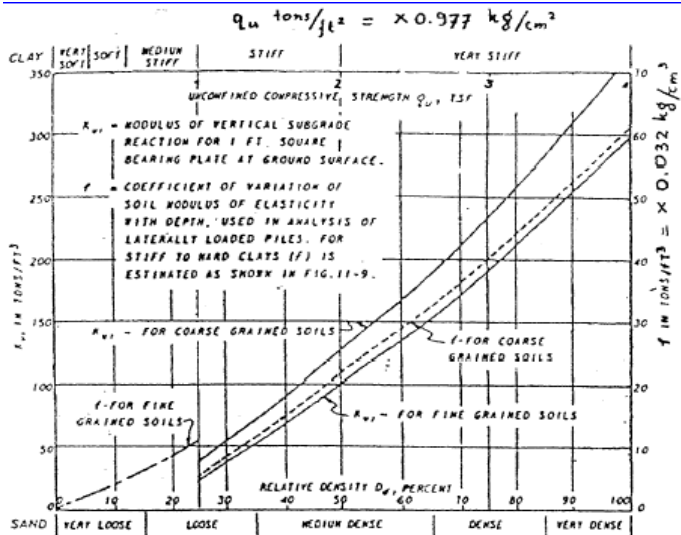
Untuk menghitung kebutuhan cerucuk per-meter, terlebih dahulu ditentukan kekuatan 1 (satu) tiang atau cerucuk untuk menahan gaya horizontal. Untuk menghitung kekuatan 1 (satu) cerucuk, terlebih dahulu harus ditentukan faktor kekuatan relatif (T) dari cerucuk seperti yang telah dijelaskan dalam NAVFAC DM-7 (1971), yaitu :

$$T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (2.43)$$

dimana :

- E = modulus elastisitas cerucuk
- I = momen inersia cerucuk
- f = koefisien dari variasi modulus tanah
- T = faktor kekakuan relatif

Harga f didapat dengan bantuan Gambar 2.11 yang merupakan grafik hubungan antara f dengan *unconfined compression strength* (q_u). Besarnya q_u adalah $2 \times C_u$.



Gambar 2.11 Kurva variasi nilai f dari berbagai jenis tanah
(sumber : NAVFAC DM-7, 1971)

Harga T yang telah diperoleh dipakai untuk menghitung gaya horizontal (P) yang mampu ditahan oleh 1 (satu) tiang. Perumusannya sebagai berikut :

$$P = \frac{M_p}{F_M \times T} \quad (2.44)$$

dimana :

M_p = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat beban P

F_M = koefisien momen akibat gaya lateral P

P = gaya horisontal yang diterima cerucuk

T = faktor kekakuan

Harga F_M ditentukan menggunakan gambar 2.12 dengan terlebih dahulu merencanakan panjang cerucuk yang tertahan di bawah bidang longsor (L). Dengan bantuan Gambar 2.12, harga L/T kemudian dipakai untuk menentukan harga F_M pada kedalaman z.

Setelah mengetahui kekuatan bahan dan dimensi cerucuk, maka momen maksimum lentur cerucuk (M_p) dapat diketahui dengan rumus berikut :

$$(M_{p-\max})_{\text{cerucuk}} = \frac{\sigma_{\max-\text{bahan}} \times I_n}{C} = \sigma_{\max} \cdot w \quad (2.45)$$

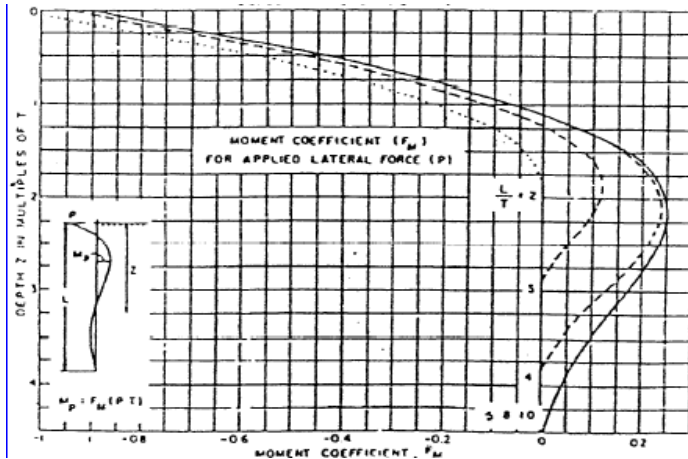
dimana :

σ_{\max} = tegangan tarik / tekan maksimum bahan cerucuk

I_n = momen inersia penampang cerucuk

C = $\frac{1}{2} D$, dimana D = diameter cerucuk

w = I_n / C



Gambar 2.12 Grafik hubungan L/T dan F_M
(sumber : NAFVAC, 1971)

2.7.1 Menentukan Jumlah Cerucuk

Perhitungan jumlah cerucuk per-satuan panjang didasarkan pada besarnya gaya horizontal tambahan yang harus diberikan pada bidang longsor yang diperlukan untuk menambah kekuatan geser tanah. Gaya horizontal tambahan tersebut direncanakan untuk dipikul oleh cerucuk. Oleh karena itu, momen dorong yang terjadi akibat beban timbunan dan beban lain yang terdapat pada timbunan perlu diperhitungkan. Angka keamanan minimum yang terjadi, momen penahan, titik pusat bidang longsor dan jari-jari kelongsoran akan didapatkan dari program bantu STABLE.

Jumlah cerucuk yang harus dipasang dihitung berdasarkan beban horizontal maksimum yang mampu ditahan oleh cerucuk. Perhitungannya sebagai berikut :

$$P_{\max 1 \text{ cerucuk}} = \frac{M_{p \max 1 \text{ cerucuk}}}{F_M \times T} \quad (2.46)$$

Sehingga, jumlah cerucuk yang harus dipasang per-satuan panjang adalah :

$$n = \frac{(SF_{rencana} - SF_{eksisting})}{P_{max\ 1\ cerucuk} \times R} \times M_D \quad (2.47)$$

dimana :

- n = jumlah cerucuk per-satuan panjang
- SF = *safety factor* (angka keamanan)
- R = jari-jari kelongsoran
- M_D = momen dorong

2.8 Metode Perkuatan Tanah dengan Geotekstil

Geotekstil dapat digunakan sebagai perkuatan tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar di bawah timbunan. Untuk perencanaan stabilitas dari timbunan di atas tanah lunak yang diperkuat dengan geotekstil, ada dua kondisi yang harus ditinjau, yaitu *Internal Stability* dan *Overall Stability*. *Internal Stability* adalah perhitungan kestabilan timbunan/*embankment* agar tidak terjadi kelongsoran pada bagian tubuh timbunan itu sendiri. Sedangkan *Overall Stability* adalah kestabilan timbunan bila ditinjau terhadap keruntuhan bidang gelincirnya.

Perhitungan perencanaan geotekstil memerlukan data yang didapat dari program bantu seperti XSTABL, antara lain nilai faktor keamanan (SF), momen penahan/momen resisten (Mr), jari-jari kelongsoran (R), serta koordinat titik pusat bidang longsor. Tahapan perhitungan penggunaan geotekstil adalah :

1. Mencari nilai momen dorong (M_D)

$$M_{dorong} = \frac{M_{resisten}}{SF} \quad (2.48)$$

2. Mencari nilai $M_{\text{resisten rencana}}$ dengan angka keamanan rencana ($SF = 1,5$)

$$M_{\text{resisten rencana}} = M_{\text{dorong}} \times SF_{\text{rencana}} \quad (2.49)$$

3. Mencari nilai tambahan Momen penahan (ΔMR) dari FS rencana

$$\Delta MR = M_{\text{resisten rencana}} - M_{\text{resisten yang terjadi}} \quad (2.50)$$

4. Mencari Kekuatan dari bahan geotekstil

Pada perencanaan geotekstil harus dipertimbangkan kekuatan tarik ijin dari bahan geotekstil tersebut dalam menerima atau memikul gaya geser saat terjadinya kelongsoran. Rumus kekuatan bahan geotekstil adalah persamaan :

$$T_{\text{allow}} = T_{\text{ult}} \times \left(\frac{1}{FS_{\text{id}} \times FS_{\text{cr}} \times FS_{\text{cd}} \times FS_{\text{bd}}} \right) \quad (2.51)$$

Dimana :

T_{allow}	= kekuatan geotekstil yang tersedia
T_{ult}	= kekuatan ultimate geotekstil
FS_{id}	= faktor keamanan akibat kerusakan pada saat pemasangan
FS_{cr}	= faktor keamanan akibat rangkai
FS_{cd}	= faktor keamanan akibat pengaruh bahan-bahankimia
FS_{id}	= faktor keamanan akibat pengaruh aktifitas biologi dalam tanah

$FS_{\text{id}}, FS_{\text{cr}}, FS_{\text{cd}},$ FS_{id} merupakan faktor reduksi akibat pengurangan kekuatan geotekstil yang besarnya dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Nilai Faktor Geotekstil

Penggunaan Geotekstil	Faktor Pemasangan,	Faktor Rangkak,	Faktor Kimia,	Faktor Biologi,
	FS _{id}	FS _{cr}	FS _{cd}	FS _{id}
Separation	1,1 – 2,5	1,1 – 1,2	1,0 – 1,5	1,0 – 1,2
Cushioning	1,1 – 2,0	1,2 – 1,5	1,0 – 2,0	1,0 – 1,2
Unpaved Roads	1,1 – 2,0	1,5 – 2,5	1,0 – 1,5	1,0 – 1,2
Walls	1,1 – 2,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Embankments	1,1 – 2,0	2,0 – 3,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Bearing Capacity	1,1 – 2,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Slope Stabilization	1,1 – 1,5	1,5 – 2,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Pavement Overlays	1,1 – 1,5	1,0 – 1,2	1,0 – 1,5	1,0 – 1,1
Railroads	1,5 – 3,0	1,0 – 1,5	1,5 – 2,0	1,0 – 1,2
Flexible Form	1,1 – 1,5	1,5 – 3,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,1
Silt Fences	1,1 – 1,5	1,5 – 2,5	1,0 – 1,5	1,0 – 1,1

5. Menentukan jumlah geotekstil yang dibutuhkan

$$\Delta MR < T_{\text{allow}} \times \sum R_i \quad (2.52)$$

Dimana :

$\sum R_i$ = penjumlahan jarak pasang masing-masing geotekstil terhadap titik-titik pusat jari-jari

kelongsoran, hingga nilainya lebih besar dari nilai Momen resisten yang dibutuhkan (ΔMR)

6. Menghitung panjang geotekstil di belakang bidang longsor
Panjang geotekstil di belakang bidang longsor dapat diketahui melalui rumusan

$$Le = \frac{T_{all} \times SF}{(\tau_{atas} + \tau_{bawah}) \times E} \quad (2.53)$$

$$\tau_i = Cu_i + \sigma_v \tan \theta \quad (2.54)$$

Dimana :

T_{all} = kekuatan tarik yang diijinkan
(tereduksi oleh faktor-faktor)

SF = faktor keamanan (rencana)

E = efisiensi (diambil E = 0.8)

τ_{atas} = tegangan geser antara geotekstil dengan tanah di atas geotekstil

τ_{bawah} = tegangan geser antara geotekstil dengan tanah di bawah geotekstil

C = kohesi tanah

θ = sudut tahanan geser tanah

7. Menghitung panjang geotekstil di depan bidang longsor
Panjang geotekstil ini dihitung dengan bantuan output dari program bantu XSTABL dengan cara :
 $L_d = (\text{koordinat-X bbidang longsor lapisan i geotekstil terpasang}) - (\text{koordinat tepi timbunan lapisan i geotekstil dipasang})$

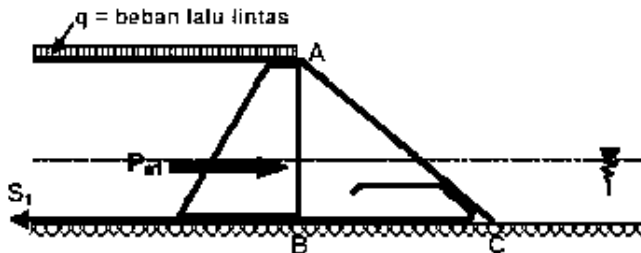
8. Menghitung panjang total geotekstil

$$\text{Panjang total geotekstil 1 sisi} = Le + L_d \quad (2.55)$$

$$\text{Panjang total geotekstil 2 sisi} = 2 \times (Le + L_d) \quad (2.56)$$

Catatan : Apabila panjang total 1 sisi geotekstil > 0.5 lebar timbunan maka untuk mempermudah pemasangan di lapangan, geotekstil dipasang selebar timbunan.

2.8.1 Kondisi *Internal Stability*



Gambar 2.13 *Internal Stability*

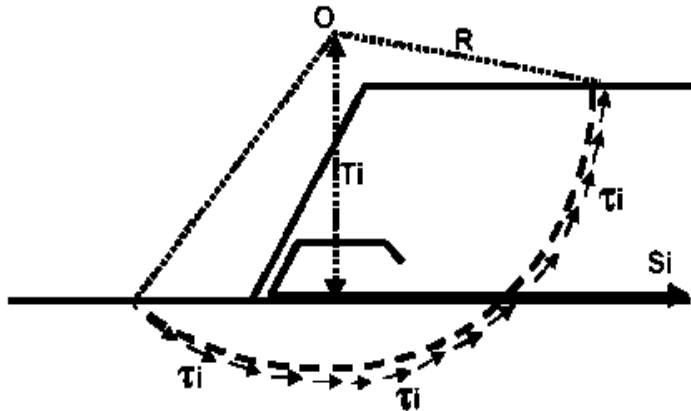
(sumber : modul Metode Perbaikan Tanah)

Kondisi internal stability tercapai bila tidak terjadi longsor pada lereng AC, dan bila perlu digunakan beberapa lapis geotekstil.

$$P_{a1} \leq \frac{(\text{Berat efektif ABC}) \times \tan \delta}{SF} \quad (2.57)$$

Dimana δ adalah sudut geser antara tanah timbunan dan material geotekstil. Adapun SF yang biasa digunakan adalah SF = 1,25 untuk jalan sementara (semi permanen) dan SF = 1,5 untuk jalan permanen.

2.8.2 Kondisi Overall Stability



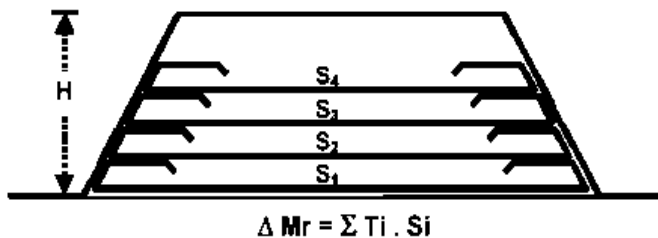
Gambar 2.14 Overall Stability
(sumber : modul Metode Perbaikan Tanah)

Tanpa geotekstil :

$$\text{Momen penahan (Mr)} = R \times \sum \tau_i \times l_i \quad (2.58)$$

Dengan geotekstil :

$$\begin{aligned} \text{Momen penahan (Mr)} &= R \times \sum \tau_i \times l_i + T_i \times S_i \\ &= M_r + \Delta MR \end{aligned} \quad (2.59)$$



$$\Delta Mr = \sum T_i \cdot S_i$$

Gambar 2.15 Geotekstil

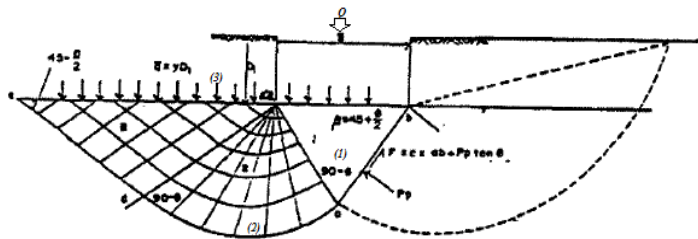
(sumber : modul Metode Perbaikan Tanah)

2.9 Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal merupakan pondasi apabila rasio Kedalaman (D) : Lebar Penampang (B) < 4 (wahyudi, 2012). Pada perencanaan proyek Gendalo-Gehem ORF ini menggunakan pondasi dangkal jenis Pondasi Rakit (*Mat Foundation*) dan pondasi telapak.

Pondasi rakit (*raft foundation* atau *mat foundation*), termasuk jenis pondasi dangkal, berwujud slab beton yang besar dan luas yang berfungsi meneruskan beban melalui sekumpulan kolom atau dinding ke lapisan tanah dibawahnya (Das, 1993). Pondasi rakit dapat digunakan bilamana tanah dasar mempunyai daya dukung rendah.

Kapasitas daya dukung pondasi bergantung pada lebar dan kedalaman pondasi. Oleh karena itu, hitungan-hitungan kapasitas dukung, sama seperti hitungan kapasitas dukung pondasi telapak.



Gambar 2.16 Dasar Teori Daya Dukung Pondasi Dangkal
(Sumber : Wahyudi, 2012)

$$q_u = 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma} + c \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q \quad (2.60)$$

(1)

(2)

(3)

dengan:

q_u = kapasitas dukung ultimit

c = kohesi

N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas dukung ditentukan dari Tabel 2.4

γ = berat volume tanah

D_f = kedalaman pondasi dangkal dari permukaan tanah

Tabel 2.4 Faktor-Faktor Daya Dukung Untuk Persamaan Daya Dukung Mayerhoff, Hansen, dan Vesic (bowles, 1992)

ϕ	N_c	N_q	$N_{\gamma(H)}$	$N_{\gamma(M)}$	$N_{\gamma(V)}$	N_q/N_c	$2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2$
0	5,14	1,0	0,0	0,0	0,0	0,195	0,000
5	6,49	1,6	0,1	0,1	0,4	0,242	0,146
10	8,34	2,5	0,4	0,4	1,2	0,296	0,241
15	10,97	3,9	1,2	1,1	2,6	0,359	0,294
20	14,83	6,4	2,9	2,9	5,4	0,431	0,315
25	20,71	10,7	6,8	6,8	10,9	0,514	0,311
26	22,25	11,8	7,9	8,0	12,5	0,533	0,308
28	25,79	14,7	10,9	11,2	16,7	0,570	0,299
30	30,13	18,4	15,1	15,7	22,4	0,610	0,289
32	35,47	23,2	20,8	22,0	30,2	0,653	0,276
34	42,14	29,4	28,7	31,1	41,0	0,698	0,262
36	50,55	37,7	40,0	44,4	56,2	0,746	0,247
38	61,31	48,9	56,1	64,0	77,9	0,797	0,231
40	75,25	64,1	79,4	93,6	109,3	0,852	0,214
45	133,73	134,7	200,5	262,3	271,3	1,007	0,172
50	266,50	318,5	567,4	871,7	761,3	1,195	0,131

2.9.1 Daya Dukung Metode Hansen

Pada Tugas Akhir ini, analisis daya dukung tanah yang digunakan menggunakan metode Hansen. Daya dukung ultimit pada metode Hansen dalam Bowless (1992) menyarankan persamaan daya dukung sebagai berikut:

$$q_{ult} = c' N_c s_c i_c d_c + \gamma D N_q s_q i_q d_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma r_\gamma \quad (2.61)$$

dimana:

B = panjang pondasi yang paling pendek

D = kedalaman pondasi rakit

s_c, s_q, s_y = Faktor bentuk pondasi

i_c, i_q, i_y = Faktor kemiringan pondasi

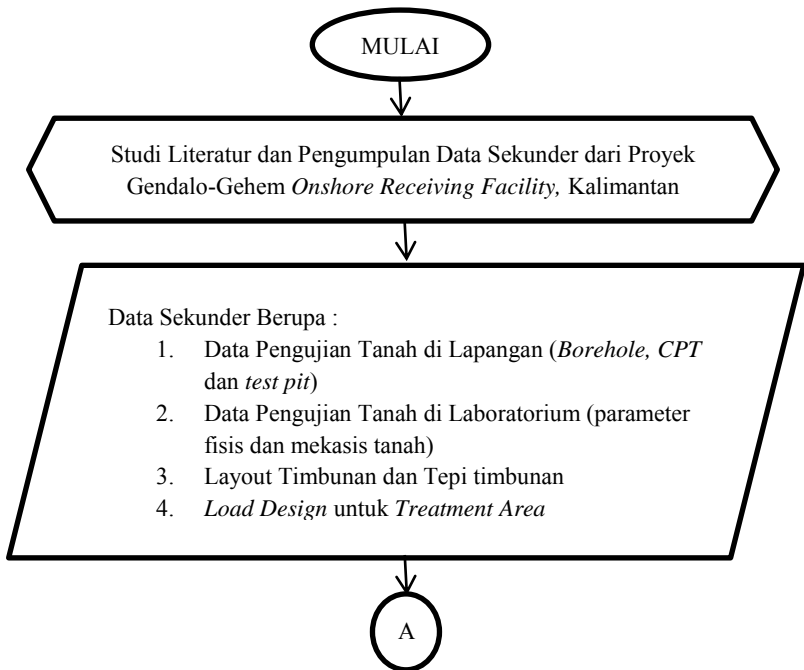
d_c, d_q, d_y = Faktor kedalaman pondasi

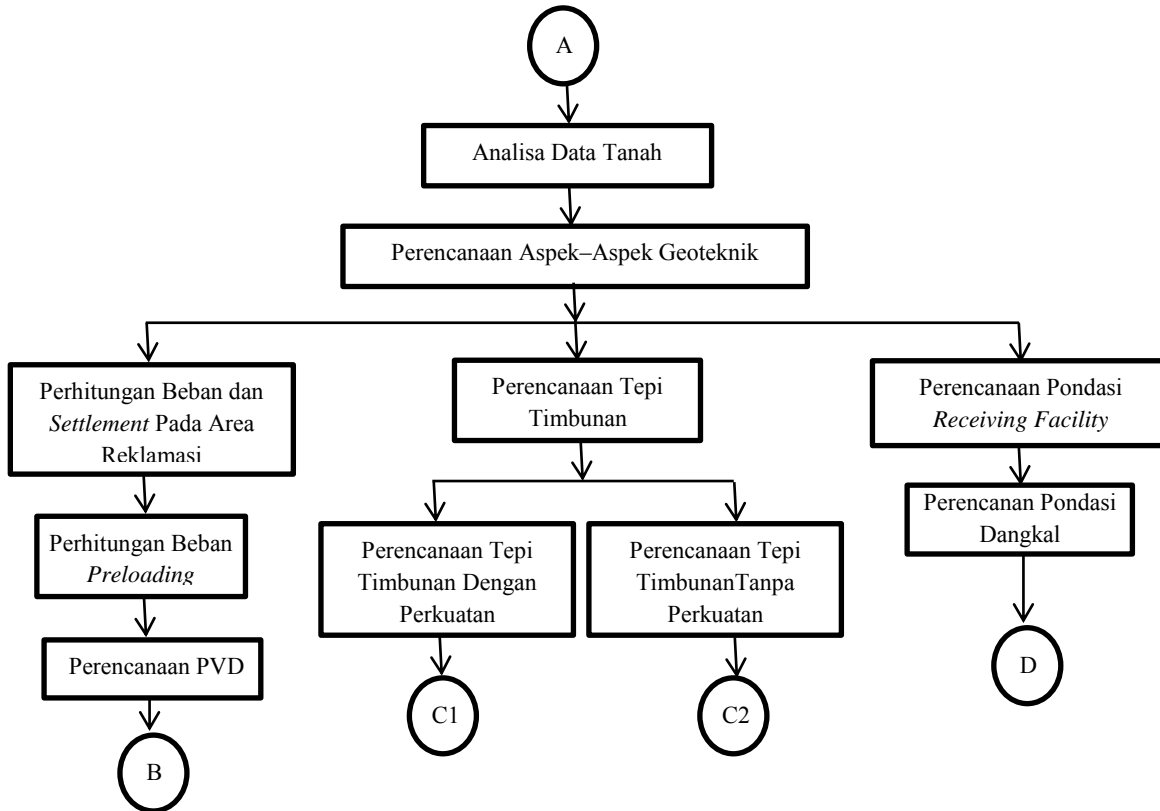
r_y = factor reduksi penggunaan pondasi yang sangat lebar

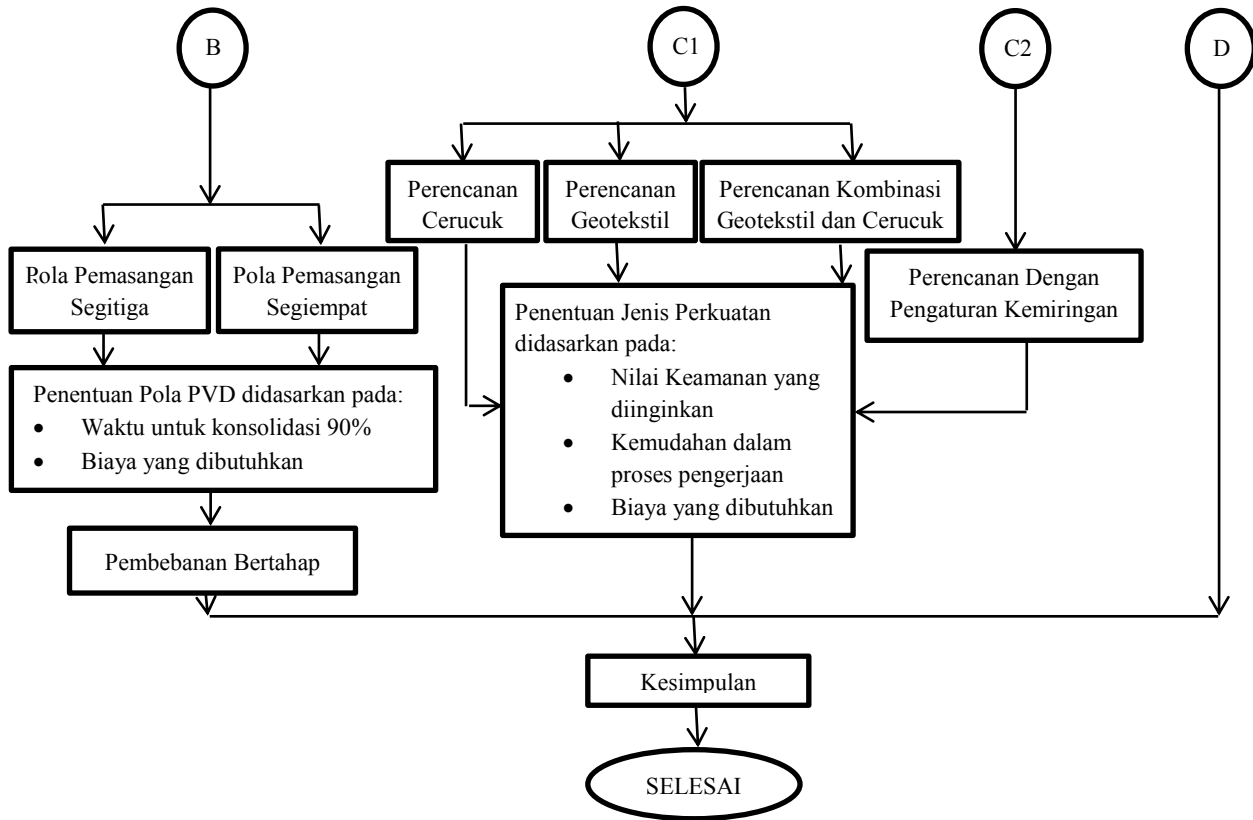
BAB III METODOLOGI

3.1 Bagan Alir

Alir perencanaan perbaikan tanah dengan metode *preloading* dengan sistem *surcharge*, perencanaan PVD, perencanaan perkuatan tepi timbunan, dan perencanaan pondasi pada fasilitas penerimaan darat.







3.2 Studi Literatur

Mempelajari konsep-konsep yang digunakan dalam menentukan karakteristik dan parameter tanah, metode percepatan pemampatan konsolidasi, dan perencanaan perkuatan tepi timbunan. Adapun bahan studi yang akan dipakai dalam perencanaan ini adalah :

- a. Analisa Parameter Tanah
- b. Teori Pemampatan
- c. Metode *Preloading* dengan Sistem *Surcharge*
- d. Metode *Prefabricated Vertical Drain*
- e. Perencanaan Kemiringan Tepi Timbunan Tanpa Perkuatan
- f. Metode Perkuatan Tanah dengan Cerucuk
- g. Metode Perkuatan Tanah dengan *Geotextile*
- h. Perencanaan Pondasi Dangkal
- i. Kesimpulan

3.3 Pengumpulan dan Analisa Data

Data-data yang dipakai dalam perencanaan ini adalah data sekunder yang meliputi :

- a. Denah Lokasi
- b. Data tanah, mencakup :
 - *Standard Penetration Test* (SPT)
 - Bor log
 - Sifat Fisik Tanah
 - Sifat Teknis Tanah
- c. Peta Topografi
- d. Data perencanaan perbaikan tanah

3.4 Perencanaan Aspek-Aspek Geoteknik

Hal-hal yang perlu diperhitungan pada perencanaan geoteknis ini adalah :

a. Perencanaan Timbunan

Timbunan diperlukan dalam perencanaan karena elevasi rencana pelabuhan adalah +13,5 m sedangkan elevasi eksisting sebelum konstruksi berada pada elevasi antara +7,0 m hingga +10,50 m. Sehingga diperlukan timbunan untuk mencapai elevasi rencana.

b. Perencanaan Perbaikan Tanah

Perencanaan perbaikan tanah dasar meliputi :

- Perencanaan Tinggi Timbunan

Tinggi timbunan awal yang diberikan pada saat pelaksanaan penimbunan tidak sama dengan tinggi timbunan rencana. Hal ini dikarenakan tanah dasar yang terbebani timbunan akan mengalami pemampatan, sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk menentukan tinggi timbunan pelaksanaan ($H_{initial}$) dengan mempertimbangan pemampatan pada tanah asli. Jika tinggi timbunan awal ($H_{initial}$) dijumlahkan dengan besarnya pemampatan, maka didapatkan tinggi timbunan rencana (H_{final}). Perhitungan dilakukan dengan metode *preloading* sistem *surcharge*.

- Perencanaan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Perencanaan perbaikan tanah dengan metode PVD bertujuan untuk mempercepat waktu pemampatan tanah. PVD direncanakan dengan membandingkan pola pemasangan segitiga dan segiempat kemudian dipilih pola dan jarak pemasangan yang paling optimal untuk mencapai pemampatan konsolidasi.

c. Perhitungan Pemampatan (*Settlement*)

Perhitungan pemampatan yang terjadi pada lapisan tanah dilakukan setelah dilakukan perbaikan tanah. Pada perencanaan ini akan dihitung akibat beban timbunan *surcharge* dan PVD yang diberikan. Perhitungan pemampatan akan dilaksanakan pada setiap tahap pekerjaan agar tidak terjadi kegagalan perencanaan.

d. Perhitungan Waktu Pemampatan

Selain perhitungan besarnya pemampatan pada lapisan tanah dihitung juga lama pemampatan yang akan terjadi akibat perbaikan tanah yang dilakukan. Waktu yang diinginkan adalah waktu yang tercepat sehingga pekerjaan lain akan cepat dilaksanakan pula. Pada perencanaan ini, waktu pemampatan yang direncanakan adalah 6 bulan. Ketika 6 bulan, diharapkan pemampatan lapisan tanah sudah selesai atau minimal 90% selesai.

e. Pembebanan Bertahap

Pada perhitungan beban bertahap bertujuan untuk memberi angka keamanan yang aman pada saat pengerjaan pembebanan. Apabila ternyata tinggi timbunan sebagai beban *preloading* yang akan diberikan lebih besar dari H_{cr} , maka timbunan harus diletakkan secara bertahap atau timbunan diberikan perkuatan tanah.

3.5 Cek Stabilitas dan Angka Keamanan

Pada perencanaan perbaikan tanah dasar dan tahap penimbunan diperlukan pengecekan angka keamanan dan stabilitas. Pengecekan dilakukan terhadap pemampatan dan daya dukung dari tanah dasar dan kekuatan tepi timbunan. Jika angka keamanan kurang dari 1,5 maka diperlukan perkuatan pada timbunan tersebut. Pengecekan tersebut berguna untuk

menghindari kegagalan saat pelaksanaan maupun saat pabrik telah beroperasi.

3.6 Perencanaan Tepi Timbunan Tanpa Perkuatan

Perencanaan tepi timbunan dapat dilaksanakan tanpa menggunakan perkuatan sama sekali dengan mengandalkan dari kemiringan (*slope*) dari tepi timbunan. Semakin landai bidang kemiringan dari tepi timbunan tersebut maka semakin besar *Safety Factor* longsor pada timbunan. Perencanaan tepi timbunan tanpa perkuatan ini dapat dilaksanakan dengan menggunakan software bantu *XSTABL* dengan memasukkan nilai kemiringan dengan asumsi-asumsi hingga tercapai *safety factor* yang diinginkan.

3.7 Perencanaan Perkuatan dengan Cerucuk

Cerucuk berfungsi sebagai konstruksi yang dapat menahan tanah di sekelilingnya dan mencegah terjadinya kelongsoran. Perbedaan elevasi tersebut bisa mengakibatkan *sliding* atau kelongsoran yang dapat menyebabkan kerusakan baik pada struktur yang menopangnya hingga bangunan yang ada di sekitarnya. Oleh karena itu diperlukan perencanaan yang seksama dengan memperhitungkan tekanan tanah dengan bantuan software *xstable*.

3.8 Perencanaan Perkuatan dengan Geotekstil

Perencanaan perkuatan tepi timbunan pada proyek ini berfungsi sebagai alternatif dari penggunaan cerucuk pelindung dari longsor akibat dari perbedaan elevasi. Pada perencanaan perkuatan dengan geotekstil ini juga dapat menghemat lahan dari kemiringan landai (1:2).

3.9 Perencanaan Pondasi Dangkal

Perencanaan dangkal pada proyek ini berfungsi sebagai struktur bawah yang menerima beban dari struktur di atasnya. Pada pondasi ini, gaya tanah yang diakibatkan oleh struktur di atasnya disalurkan ke tanah dengan merata hingga mendapatkan daya dukung yang mencukupi.

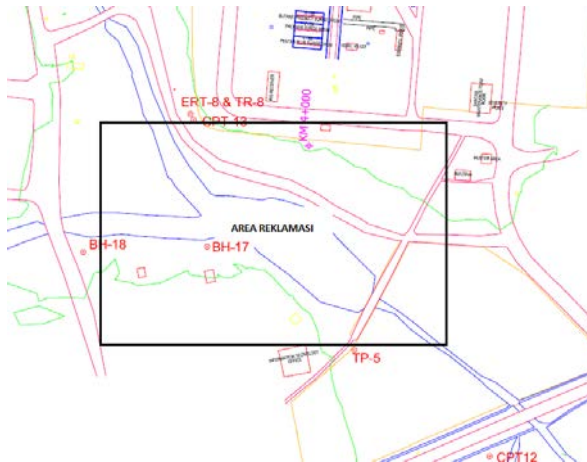
3.10 Kesimpulan

Setelah perhitungan perencanaan selesai, maka dapat ditarik kesimpulan apakah perbaikan tanah dengan menggunakan PVD dan *preloading* sistem *surcharge* telah cukup untuk mempercepat konsolidasi dan menaikkan daya dukung tanah dasar. Selain itu juga dapat diketahui apakah dengan menggunakan cerucuk ataukah geotextile yang akan digunakan pada dimensi tersebut telah cukup untuk mengatasi permasalahan kestabilan tepi timbunan. Pada struktur bawah dapat diketahui apakah dengan menggunakan pondasi dangkal jenis pondasi telapak atau pondasi rakit sebagai pondasi penopang struktur di atasnya dengan pertimbangan dari segi biaya, dan stabilitas dari pondasi tersebut.

BAB IV DATA DAN ANALISA

4.1 Lokasi Bor Dalam

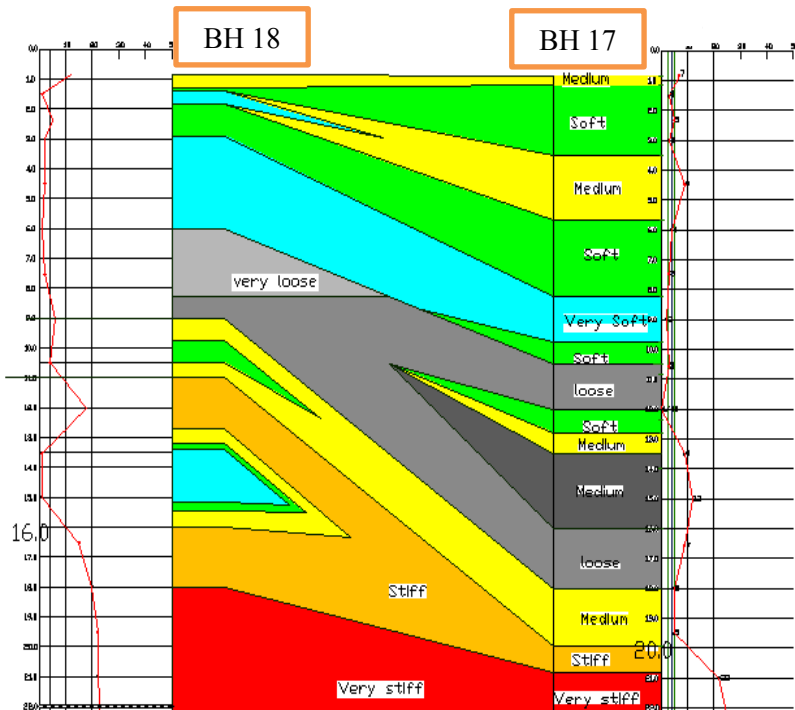
Data tanah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah data SPT dan laboratorium hasil penyelidikan tanah Proyek Pengembangan Gendalo-Gehem *onshore receiving facility* yang dilakukan oleh PT. Daya Creasi Mitrayasa pada tahun 2011. Data SPT dan pengujian laboratorium yang tersedia berjumlah dua titik data pengeboran yakni BH-17 dan BH-18, satu berada di lokasi reklamasi, sedangkan titik lainnya berada di tepi lokasi reklamasi (Gambar 4.1). Data dianalisa dengan membandingkan jenis tanah dan analisa SPT untuk mendapatkan kedalaman tanah mampu mampat ($N_{SPT} \leq 10$). Letak tanah mampu mampat berkisar antara -6,2 m hingga -9,3 m dengan elevasi rencana +13,5 m. Data tanah hasil bor log secara lebih detail dapat dilihat pada lampiran 1



Gambar 4.1 Lokasi SPT BH-17 dan BH-18

4.2 Analisa Parameter Tanah

Data parameter tanah tiap titik diperoleh dari hasil penyelidikan tanah kemudian dianalisa dan dilakukan evaluasi dengan cara mengelompokkan berdasarkan jenis dan konsistensi tanah. Data SPT yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah BH-17 dengan analisa tanah lunak yang mampu memampat hingga 20 m dan memiliki angka konsolidasi yang lebih besar daripada BH-18 (Gambar 4.2). Selain itu pertimbangan yang digunakan adalah letak lokasi BH-17 yang berada tepat pada daerah reklamasi.



Gambar 4.2 Analisa Tebal Tanah yang Mampu Terkonsolidasi
Antara SPT BH-17 dan BH-18

4.3 Data Tanah Timbunan

Material timbunan reklamasi yang digunakan berasal dari daerah Bontang dengan spesifikasi teknis dari material adalah sebagai berikut:

- Sifat fisik tanah timbunan:

$$C = 0$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,95 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_t = 1,85 \text{ t/m}^3$$

$$\phi = 25^\circ$$

- Geometri timbunan

Tinggi tanah timbunan (H_{final}) direncannakan hingga elevasi +13.5 m dengan luas area timbunan 8200 m².

4.4 Data Spesifikasi Bahan

4.4.1 PVD (*Prefabricated Vertical Drain*)

Jenis PVD yang digunakan pada perencanaan ini adalah CeTeau Drain CT-D812 produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Weight = 80 g/m
- Thickness (a) = 100 mm
- Width (b) = 5 mm

4.4.2 *Geotextile*

Jenis *geotextile* yang digunakan pada perencanaan ini adalah Huesker Stablenka dengan *Tensile Strength* 300 KN/m'.

4.4.3 Cerucuk

Jenis cerucuk yang digunakan pada perencanaan ini adalah cerucuk dengan material beton (mikropile) dengan dimensi 20 cm x 20 cm dengan mutu beton K-450.

4.5 Data Beban

Reklamasi akan dibebani dengan beban *receiving facility* yang terdiri dari *knock out drum*, *closed drain drum*, *flare*, *metering system* dan *pig launcher*. Data *equipment* dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Beban *Equipment Onshore Receiving Facility*

No	Equipment	Empty Load	Operating Load	Hydrotest Load
		(kg)	(kg)	(kg)
1	Knock Out Drum 140"	44390	107050	148390
2	Closed Drain Drum 100"	5070	9550	11080
3	Flare	7394.7	12000	28589.7
4	Metering System	19378	22300	25200
5	Pig Launcher 16"	2790	3070	3740
6	Pig Launcher 20"	4360	4460	5760

BAB V

PERENCANAAN GEOTEKNIK

5.1 Perhitungan Tinggi Inisial (H_{insial})

Perhitungan konsolidasi pada perencanaan ini dihitung berdasarkan pemampatan tanah dengan asumsi kondisi *normally consolidated*. Dari perhitungan tersebut diperoleh besar pemampatan (S_c), tinggi timbunan awal (H_{insial}) dan tinggi timbunan akhir (H_{final}) untuk perencanaan.

Untuk mendapatkan H_{insial} dilakukan perhitungan pemampatan konsolidasi dengan variasi pemberian beban timbunan (q). Variasi beban timbunan yang diberikan dibedakan menjadi dua, yakni pada daerah non ORF dan ORF.

Variasi q pada daerah *non equipment* antara lain:

$$\begin{aligned} q = 3,7 \text{ t/m}^2 &\rightarrow q_{\text{timbunan}} 3,7 \text{ t/m}^2 \\ q = 7,4 \text{ t/m}^2 &\rightarrow q_{\text{timbunan}} 7,4 \text{ t/m}^2 \\ q = 11,1 \text{ t/m}^2 &\rightarrow q_{\text{timbunan}} 11,1 \text{ t/m}^2 \\ q = 14,8 \text{ t/m}^2 &\rightarrow q_{\text{timbunan}} 14,8 \text{ t/m}^2 \\ q = 18,5 \text{ t/m}^2 &\rightarrow q_{\text{timbunan}} 18,5 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Variasi q pada daerah *equipment* antara lain:

$$\begin{aligned} q = 4,7 \text{ t/m}^2 &\rightarrow q_{\text{timbunan}} 3,7 \text{ t/m}^2 + q_{\text{surchage}} 1 \text{ t/m}^2 \\ q = 8,4 \text{ t/m}^2 &\rightarrow q_{\text{timbunan}} 7,4 \text{ t/m}^2 + q_{\text{surchage}} 1 \text{ t/m}^2 \\ q = 12,1 \text{ t/m}^2 &\rightarrow q_{\text{timbunan}} 11,1 \text{ t/m}^2 + q_{\text{surchage}} 1 \text{ t/m}^2 \\ q = 15,8 \text{ t/m}^2 &\rightarrow q_{\text{timbunan}} 14,8 \text{ t/m}^2 + q_{\text{surchage}} 1 \text{ t/m}^2 \\ q = 19,5 \text{ t/m}^2 &\rightarrow q_{\text{timbunan}} 18,5 \text{ t/m}^2 + q_{\text{surchage}} 1 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

5.1.1 Perhitungan Besar Pemampatan

Dari hasil analisis data tanah, diperoleh tebal lapisan *compressible* 20 m. Lapisan *compressible* memiliki N-SPT kurang dari 10 dengan jenis konsistensi tanah dari *very soft* hingga *medium stiff*. Perhitungan *settlement* dapat diperoleh

dengan persamaan (2.2), (2.3), (2.4) dan (2.5). Perhitungan *settlement* dibagi menjadi dua bagian, yakni perhitungan *settlement* akibat beban timbunan, dan perhitungan *settlement* akibat beban timbunan dan *surchage*. Berikut ini adalah contoh perhitungan *settlement* akibat beban timbunan 11,1 t/m² pada tanah lapis ke 7 (dibawah tanah lempung 1). Gambar penampang tanah dapat dilihat pada Lampiran 2.

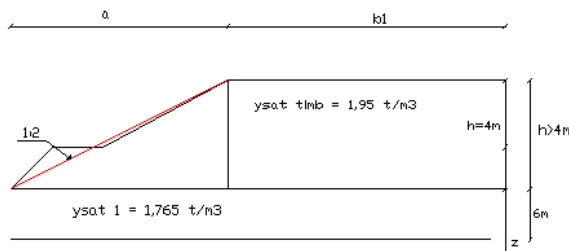
h	$= 1 \text{ m}$	γ_w	$= 1.0 \text{ t/m}^3$
$\gamma_{\text{sat } 2}$	$= 1,711 \text{ t/m}^3$	γ'_2	$= 0,711 \text{ t/m}^3$
C_c	$= 0,556$	$\gamma_{\text{sat timb}}$	$= 1,95 \text{ t/m}^3$
e_o	$= 1,127$	γ'_{timb}	$= 0,95 \text{ t/m}^3$
$\gamma_{\text{sat } 1}$	$= 1,765 \text{ t/m}^3$	γ'_1	$= 0,765 \text{ t/m}^3$

1. Tegangan *overburden* efektif (P_o')

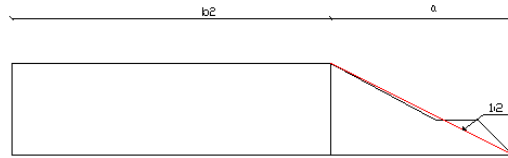
Dihitung di tengah lapisan tanah dengan persamaan (2.11)

$$\begin{aligned}
 P_o' &= (\gamma'_1 \times h_1) + (\gamma'_2 \times h_2) + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4) + (\gamma'_5 \times h_5) \\
 &\quad + (\gamma'_6 \times h_6) + (\gamma'_7 \times h) \\
 &= (0,81 \text{ t/m}^3 \times 1 \text{ m}) + (0,81 \text{ t/m}^3 \times 1 \text{ m}) + (0,81 \text{ t/m}^3 \times 1 \text{ m}) \\
 &\quad + (0,81 \text{ t/m}^3 \times 1 \text{ m}) + (0,81 \text{ t/m}^3 \times 1 \text{ m}) + (0,81 \text{ t/m}^3 \times 1 \text{ m}) \\
 &\quad + (0,711 \text{ t/m}^3 \times 0,5 \text{ m}) \\
 &= 4,9455 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

2. Penambahan tegangan (Δp)



Gambar 5.1 Potongan Timbunan untuk Area 1 Ditinjau Sebelah Kiri



Gambar 5.2 Potongan Timbunan untuk Area 1 Ditinjau Sebelah Kanan

$$\begin{array}{ll} b_1 &= 29 \text{ m} \\ z &= 6,5 \text{ m} \end{array} \qquad \begin{array}{ll} b_2 &= 126 \text{ m} \\ a &= 12 \text{ m} \end{array}$$

Distribusi tegangan pada lahan reklamasi sebelah kiri, $b_1/z = 4,46$ dan $a/z = 2,42$ sehingga dari bacaan grafik Gambar 2.1, dipakai faktor distribusi tegangan $I_1 = 0,5$. Pada lahan sebelah kanan $b_2/z = 19,38$ dengan faktor distribusi tegangan $I_2 = 0,5$. Maka didapatkan perhitungan dengan persamaan (2.7) untuk timbunan total:

$$\begin{aligned} \Delta p_1 &= (I_1 + I_2) \times q \\ &= (0,5 + 0,5) \times 11,1 \text{ t/m}^3 \\ &= 11,1 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

3. Besarnya pemampatan (S_c)

Dengan menggunakan persamaan (2.3) didapatkan :

$$\begin{aligned} S_{c\sim} &= \frac{H}{1 + e_o} \left[C_c \log \left(\frac{\sigma_o' + \Delta \sigma}{\sigma_o'} \right) \right] \\ &= \frac{1}{1 + 1,127} \left[0,5560 \log \left(\frac{4,9455 + 11,1}{4,9455} \right) \right] \\ &= 0,123 \text{ m} \end{aligned}$$

Total pemampatan yang terjadi dari seluruh layer tanah pada akibat beban timbunan $q = 11,1 \text{ t/m}^2$ adalah sebesar 2,038 m.

Kemudian dilakukan perhitungan pemampatan akibat beban timbunan dan *surcharge*. Timbunan *surcharge* diasumsikan sebagai beban terbagi rata, $q = 1 \text{ t/m}^2$.

$$\begin{array}{ll} B &= 55 \text{ m} \\ L &= 47,5 \text{ m} \end{array} \qquad \begin{array}{ll} m &= 4,4 \\ n &= 3,8 \end{array}$$

Dari grafik pada Gambar 2.2 diperoleh $I = 0,25$. Karena I tersebut diambil di titik tengah beban terbagi rata maka perhitungan dengan persamaan (2.7) untuk beban *surcharge* total dapat dikali 4.

$$\begin{aligned}\Delta p_2 &= 4 \times I \times q \\ &= 4 \times 0,25 \times 1 \text{ t/m}^3 \\ &= 1 \text{ t/m}^2 \\ \Delta p &= \Delta p_1 + \Delta p_2 \\ &= 11,1 \text{ t/m}^2 + 1 \text{ t/m}^2 \\ &= 12,1 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.2) didapatkan :

$$\begin{aligned}S_{c\sim} &= \frac{H}{1+e_o} \left[C_c \log \left(\frac{\sigma_o' + \Delta \sigma}{\sigma_o'} \right) \right] \\ &= \frac{1}{1+1,127} \left[0,556 \log \left(\frac{4,9455 + 12,1}{4,9455} \right) \right] \\ &= 0,140 \text{ m}\end{aligned}$$

Total pemampatan yang terjadi dari seluruh layer tanah akibat beban timbunan dan *surcharge* $q = 12,1 \text{ t/m}^2$ adalah sebesar 2,125 m.

5.1.2 Perhitungan Tinggi Timbunan Awal (H_{inisial}) dan Tinggi Timbunan Akhir (H_{final})

Tinggi timbunan awal dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.14).

$$H_{\text{inisial}} = \frac{q_{\text{final}} + (S_c) \times (\gamma_{\text{timb}} - \gamma'_{\text{timb}})}{\gamma_{\text{timb}}}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}S_c \text{ akibat } (q_{\text{timbunan}}) & 11,1 \text{ t/m}^3 &= 2,038 \text{ m} \\ S_c \text{ akibat } (q_{\text{timbunan}+\text{surcharge}}) & 12,1 \text{ t/m}^3 &= 2,125 \text{ m} \\ \gamma_{\text{timbunan}} & &= 1,85 \text{ ton/m}^2 \\ \gamma_{\text{sat timb}} & &= 1,95 \text{ ton/m}^2 \\ \gamma_w & &= 1,0 \text{ ton/m}^2 \\ \gamma'_{\text{timb}} & &= 0,95 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

Maka :

$$H_{\text{inisial timb}} = \frac{11,1 + (2,038) \times (1,85 - 0,95)}{1,85}$$

$$= 6,992 \text{ m}$$

$$H_{\text{inisial timb+surc}} = \frac{12,1 + (2,038) \times (1,85 - 0,95)}{1,85}$$

$$= 7,574 \text{ m}$$

$H_{\text{inisial timb+surc}}$ merupakan tinggi timbunan itu sendiri dan tinggi timbunan yang mewakili beban yang akan diberikan pada timbunan tersebut. Dalam hal ini H_{surchage} mewakili beban *receiving facility*. Timbunan surcharge akan dibongkar setelah timbunan mengalami pemampatan sebesar yang direncanakan. Sehingga persamaan H_{final} pada daerah *receiving facility* adalah sebagai berikut :

$$H_{\text{final}} = H_{\text{inisial}} - S_c - H_{\text{surchage}}$$

$$= 7,574 \text{ m} - 2,125 \text{ m} - 0,541 \text{ m}$$

$$= 4,909 \text{ m}$$

Perhitungan *settlement* selengkapnya pada Lampiran 3. Dari perhitungan akibat variasi beban di atas didapat hasil yang disajikan pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2.

Tabel 5.1 Hasil Perhitungan *Settlement*, H_{inisial} , dan H_{final} Akibat Beban Timbunan.

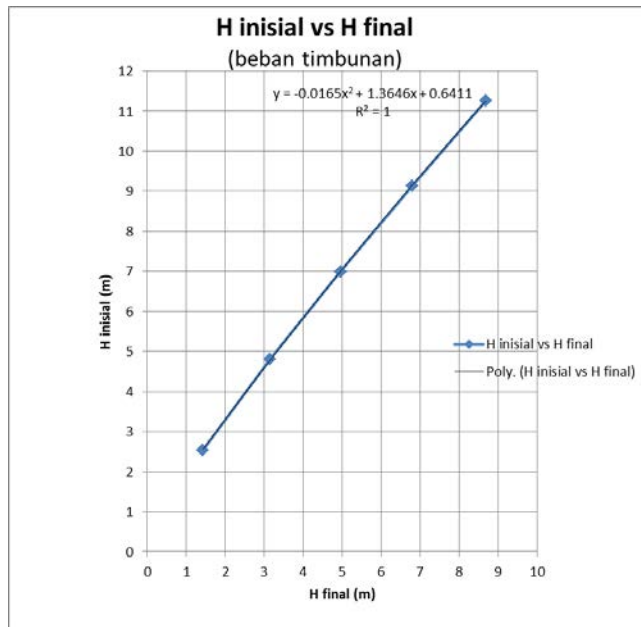
H awal timb	Q timb	Sc	H inisial	H Bongkar	H final
(m)	(t/m ²)	(m)	(m)	(m)	(m)
A	B	C	D	E	F=D-C
2.000	3.7	1.113	2.541334	0.000	1.429
4.000	7.4	1.657	4.806251	0.000	3.149
6.000	11.1	2.038	6.99169	0.000	4.953
8.000	14.8	2.334	9.135511	0.000	6.801
10.000	18.5	2.576	11.25327	0.000	8.677

(Sumber: Hasil Analisa)

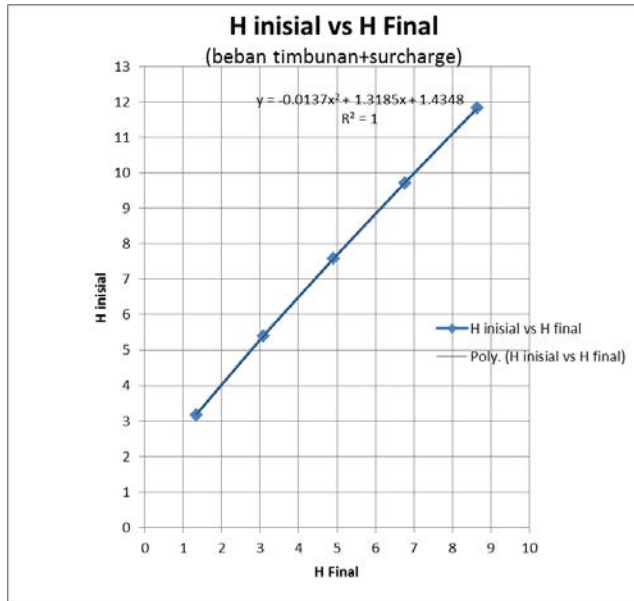
Tabel 5.2 Hasil Perhitungan *Settlement*, H_{inisial} , dan H_{final} Akibat Beban Timbunan dan *Surcharge*.

H awal timb+surc	Q timb+surc	Sc	H inisial	H Bongkar	H final
(m)	(t/m ²)	(m)	(m)	(m)	(m)
A	B	C	D	E	F=D-C-E
2.541	4.7	1.285	3.165593	0.541	1.340
4.541	8.4	1.772	5.402411	0.541	3.090
6.541	12.1	2.125	7.574276	0.541	4.909
8.541	15.8	2.404	9.709891	0.541	6.766
10.541	19.5	2.634	11.82208	0.541	8.647

(Sumber: Hasil Analisa)



Gambar 5.3 Grafik Hubungan antara H_{inisial} dan H_{final} akibat beban timbunan



Gambar 5.4 Grafik Hubungan antara H_{inisial} dan H_{final} Akibat Beban Timbunan dan *Surcharge*

Dengan menggunakan persamaan yang dihasilkan dari grafik pada Gambar 5.3 dan 5.4 maka tinggi timbunan awal yang dibutuhkan untuk mencapai tinggi timbunan akhir elevasi +13,5 m adalah dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 H_{\text{inisial}} \text{ daerah non ORF} &= -0,0165x^2 + 1,3646x + 0,64111 \\
 &= -0,0165(6,5)^2 + 1,3646(6,5) + 0,6411 \\
 &= 8,814 \text{ m} \sim 8,8 \text{ m} \\
 H_{\text{inisial}} \text{ daerah ORF} &= -0,0137x^2 + 1,3185x + 1,4348 \\
 &= -0,0137(6,5)^2 + 1,3185(6,5) + 1,4348 \\
 &= 9,426 \text{ m} \sim 9,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi untuk memperoleh H_{final} elevasi +13,5 m harus direncanakan tinggi timbunan awal (H_{inisial}) pada daerah non ORF 8,8 m dan pada daerah ORF 9,4 m dengan H_{bongkar} 0,541m.

Dengan cara yang sama pada area tinjau 2 diperoleh hasil tinggi inisial setinggi 5,85 m untuk daerah non ORF dan 6,5 m untuk daerah ORF dengan $H_{\text{bongkar}} = 0,541 \text{ m}$

5.2 Perhitungan Waktu Pemampatan Tanpa Percepatan

Setelah didapatkan besar pemampatan yang terjadi akibat beban timbunan dan beban *surchage*, dilakukan perhitungan waktu konsolidasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pemampatan tersebut menggunakan Persamaan (2.29). Hal ini dilakukan untuk menentukan perlu atau tidaknya perbaikan tanah dasar untuk mempercepat waktu pemampatan yang terjadi. Parameter tanah yang dibutuhkan untuk menghitung waktu konsolidasi pada Tabel 5.3

Tabel 5.3 Parameter Tanah untuk Perhitungan Waktu Konsolidasi

Kedalaman	z	C_v
	(cm)	cm ² /sec
0-1	100	0,001479
1-2	100	0,001479
2-3	100	0,001479
3-4	100	0,001479
4-5	100	0,001479
5-6	100	0,001479

dst.

(Sumber: Hasil Analisa)

Karena setiap lapisan tanah memiliki nilai C_v masing-masing, maka nilai C_v yang digunakan adalah nilai gabungan ($C_{v\text{gabungan}}$). Perhitungan $C_{v\text{gabungan}}$ diperoleh dari Persamaan (2.11).

$$C_{v\text{gab}} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left[\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}} \right]^2}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai $C_{v\text{gabungan}} = 0,001226 \text{ cm}^2/\text{dtk}$ = 3,8552 m²/tahun. Dengan $U = 90\%$ didapat $T_v = 0,848$ (Berdasarkan Tabel 2.2). Tebal lapisan *drainage* (H_{dr}) sebesar 20

m. Sehingga dengan menggunakan Persamaan (2.9), didapatkan waktu konsolidasi sebagai berikut :

$$t = \frac{0,848 \cdot (20)^2}{3,855} = 87,98 \text{ tahun}$$

Karena waktu pemampatan yang lama, yaitu 87,98 tahun, maka dalam perencanaan ini perlu pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) untuk mempercepat proses konsolidasi.

5.3 Perencanaan PVD untuk Mempercepat Pemampatan

Pada perencanaan ini, PVD dipasang sepanjang lapisan tanah yang terkonsolidasi atau hingga lapisan tanah dengan nilai N-SPT 10, yaitu sedalam 20 m. Terdapat dua pola pemasangan PVD yang akan digunakan yaitu pola segitiga dan pola segiempat dengan variasi jarak/spasi sebesar 1,1 m, 1,2 m, 1,3 m, 1,4 m, 1,5 m dan 1,6 m. Hal ini dilakukan agar mendapatkan jarak pemasangan PVD yang efisien untuk mencapai derajat konsolidasi yang diinginkan.

5.3.1 Perhitungan Derajat Konsolidasi Vertikal (U_v)

Dalam hal ini besarnya U_v diasumsikan kurang dari 60% sehingga digunakan persamaan (2.32). Sesuai dengan persamaan tersebut, untuk memperoleh nilai U_v maka terlebih dahulu perlu mengetahui nilai T_v . Nilai T_v didapat dari perumusan (2.18).

$$\begin{aligned} C_v &= 0,001226 \text{ cm}^2/\text{detik} \\ t &= 1 \text{ minggu} = 604800 \text{ detik} \\ H_{dr} &= 20 \text{ m} = 2000 \text{ cm} \\ T_v &= \frac{604800 \times 0,001226}{(2000)^2} = 0,0000000185 \\ \bar{U}_v &= \left(2 \sqrt{\frac{0,0000000185}{\pi}} \right) \times 100\% = 0,739\% = 0,00739 \end{aligned}$$

5.3.2 Perhitungan Derajat Konsolidasi Horizontal (U_h)

Derajat konsolidasi horizontal diperoleh dari persamaan (2.34). Dalam perhitungan U_h dibutuhkan beberapa parameter seperti $F_{(n)}$, C_h , dan D . Contoh langkah perhitungan besarnya U_h untuk PVD dengan pola pemasangan segitiga dengan spasi 1,1 m dan lebar PVD 10 cm sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C_{vgab} &= 0,001226 \text{ cm}^2/\text{dtk} \\ K_h/K_v &= 3 \\ \text{Lebar PVD (a)} &= 100 \text{ mm} \\ \text{Tebal PVD (b)} &= 5 \text{ mm} \\ d_w &= 2(a+b)/\pi \\ &= 2(100+5)/\pi \\ &= 66,88 \text{ mm} \end{aligned}$$

1. Perhitungan $F_{(n)}$ untuk pola segitiga dengan $S = 1,1 \text{ m}$

$$\begin{aligned} D &= 1,05 \times S \\ &= 1,05 \times 1100 \\ &= 1155 \text{ mm} \\ n &= D/d_w \\ &= 1155/66,88 \\ &= 17,27 \end{aligned}$$

Perhitungan $F_{(n)}$ menggunakan persamaan (2.26)

$$\begin{aligned} F_{(n)} &= \left(\frac{17,27^2}{17,27^2 - 1} \right) \left[\ln(17,27) - \frac{3}{4} - \left(\frac{1}{4(17,27)^2} \right) \right] \\ &= 2,567 \end{aligned}$$

Perhitungan $F_{(n)}$ selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Perhitungan $F_{(n)}$ PVD Pola Segitiga

JARAK PVD	D	a	b	Dw	n	$F_{(n)}$
S (m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
1.1	1155	100	5	66.87898089	17.27	2.105191
1.2	1260	100	5	66.87898089	18.84	2.191452
1.3	1365	100	5	66.87898089	20.41	2.270876
1.4	1470	100	5	66.87898089	21.98	2.344468
1.5	1575	100	5	66.87898089	23.55	2.413026
1.6	1680	100	5	66.87898089	25.12	2.477194

(Sumber: Hasil Analisa)

2. Perhitungan U_h

Berikut adalah perhitungan U_h untuk pola segitiga dengan spasi 1,1 m minggu pertama.

$$D = 1155 \text{ mm}$$

$$F_{(n)} = 2,105$$

$$t = 1 \text{ minggu} = 604800 \text{ detik}$$

$$C_h = C_v \times (K_h/K_v)$$

$$= 0,07414 \text{ m}^2/\text{week} \times (3)$$

$$= 0,22242 \text{ m}^2/\text{week}$$

$$U_h = 1 - \left[\frac{1}{e^{\frac{1(1) \times 8 \times 0,22242}{115,5^2 \times 2 \times 2,105}}} \right] \times 100\% = 27,15\%$$

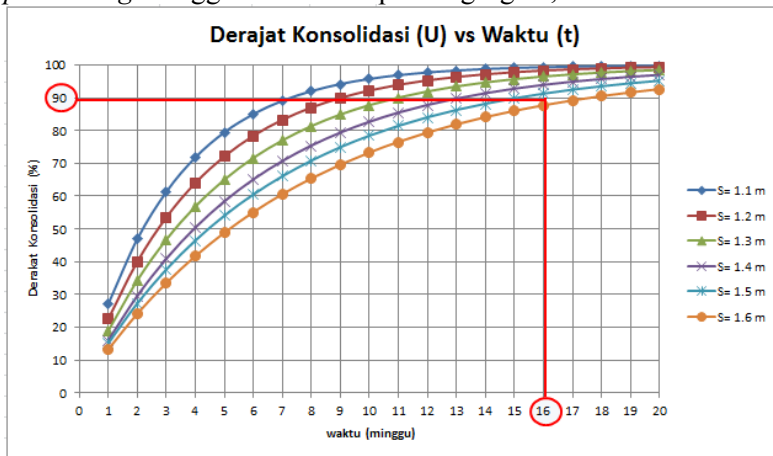
5.3.3 Perhitungan Derajat Konsolidasi Rata-Rata (\bar{U})

Setelah nilai U_v dan U_h didapatkan, selanjutnya perlu dilakukan perhitungan \bar{U} menggunakan persamaan (2.38). Berikut adalah perhitungan \bar{U} rata-rata untuk pola pemasangan segitiga dengan spasi 1,1 m.

$$\begin{aligned} \bar{U} &= [1 - (1 - U_h) \cdot (1 - U_v)] \times 100\% \\ &= [1 - (1 - 0,2715) \cdot (1 - 0,01536)] \times 100\% \\ &= 28,27\% \end{aligned}$$

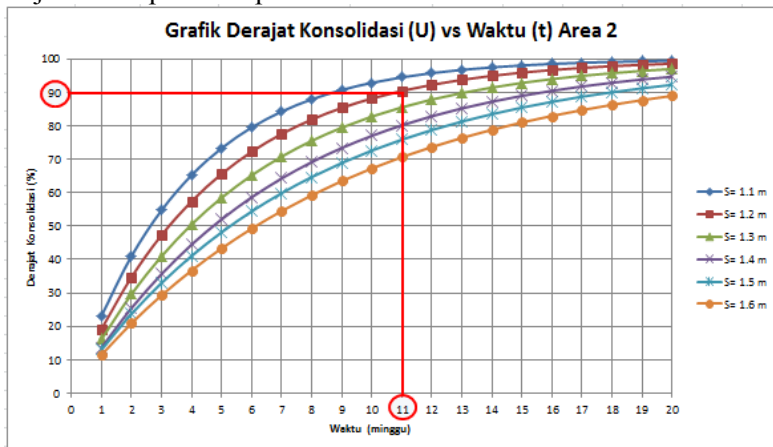
Hasil perhitungan lainnya dengan pola dan jarak PVD bervariasi dapat dilihat pada lampiran 4. Dari perhitungan tersebut dihasilkan grafik hubungan $U_{\text{rata-rata}}$ dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi (\bar{U}) yang dibutuhkan (Gambar 5.3). Dari grafik tersebut dipilih pemasangan PVD pola segitiga dengan jarak pemasangan 1,5 m dan waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% (tepatnya 89,9%) pada area tinjau 1 tanpa *preloading* adalah 15 minggu. Dengan cara yang sama pada area tinjau 1 dengan beban *preloading* diperoleh kebutuhan PVD pola segitiga dengan jarak 1,5 m dengan derajat konsolidasi 91,3% dengan waktu 16 minggu. Dengan sedikitnya selisih antara area tinjau 1 dengan *preloading* dan tanpa *preloading* maka di perhitungan berikutnya

hanya menggunakan perhitungan pada area tinjau 1 dengan *preloading* menggunakan PVD pola segitiga 1,5 m.



Gambar 5.5 Grafik Hubungan Antara Derajat Konsolidasi dan Waktu pada Area 1

Dengan cara yang sama pada area tinjau 2 diperoleh perencanaan PVD pola pemasangan segitiga dengan jarak 1,2 m dengan waktu 11 minggu (Gambar 5.6). Hasil perhitungan area tinjau 2 ada pada lampiran 5.



Gambar 5.6 Grafik Hubungan Antara Derajat
Konsolidasi dan Waktu pada Area 2

5.4 Perhitungan *Rate of Settlement*

Perhitungan *Rate of Settlement* dilakukan untuk menganalisa kedalaman pemasangan PVD. Pada Area 1 tinggi timbunan pada saat pemasangan PVD adalah sebagai berikut :

Tinggi Pemasangan PVD	= 20 m
Total <i>Settlement</i>	= 2,386 m
t_{90}	= 87,98 tahun
Umur Rencana ORF	= 20 tahun
<i>Rate of settlement</i> ijin	= 1,5 cm/tahun
C_v rata-rata	= 3,855 m ² /tahun
H_{dr}	= 20 m

Mula-mula akan dihitung pemampatan yang terjadi tanpa pemasangan PVD hingga umur rencana reklamasi. Contoh perhitungan dilakukan untuk Area 1 pada tahun pertama. Perhitungannya sebagai berikut :

$$Tv = \frac{Cv \times t}{(H_{dr}^2)} = \frac{3,855 \times 87,98}{20^2} = 0,00964$$

$$Uv = \left(\frac{4Tv}{\pi}\right)^{1/2} \times 100\% = \left(\frac{4 \cdot 0,00964}{\pi}\right)^{1/2} \times 100\% = 11,1 \%$$

$$Sc_{1 \text{ tahun}} = 11,1\% \times 2,386 \text{ m} = 0,2643 \text{ m} = 26,43 \text{ cm}$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan pemampatan tanpa pemasangan PVD hingga umur rencana ORF. Perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Kecepatan Pemampatan tanpa PVD pada Umur Rencana ORF

Tahun Ke-	Tv	a	Uv(%)	Sc (cm)
1	0.0096	63.311	11.0805	26.43396501
2	0.0193	61.922	15.6702	37.38327183
3	0.0289	60.563	19.192	45.78497045
4	0.0386	59.233	22.161	52.86793002
5	0.0482	57.933	24.7768	59.10814268
6	0.0578	56.662	27.1416	64.74972616
7	0.0675	55.418	29.3163	69.93769759
8	0.0771	54.202	31.3404	74.76654365
9	0.0867	53.012	33.2416	79.30189504
10	0.0964	51.849	35.0397	83.59153703
11	0.106	50.711	36.7499	87.67154367
12	0.1157	49.598	38.384	91.56994089
13	0.1253	48.509	39.9514	95.30901626
14	0.1349	47.444	41.4595	98.90684045
15	0.1446	46.403	42.9147	102.3783063
16	0.1542	45.385	44.3221	105.73586
17	0.1638	44.389	45.6862	108.9900298
18	0.1735	43.414	47.0107	112.1498155
19	0.1831	42.461	48.2989	115.2229822
20	0.1928	41.53	49.5536	118.2162854

(Sumber: Hasil Analisa)

Untuk pemampatan sebesar 2,386 m, q_{total} yang terjadi adalah sebesar $15,29 \text{ t/m}^2$. Kemudian dicoba-coba kedalaman PVD yang dipasang. Pada percobaan pertama dicoba kedalaman 10 m sehingga lapisan di bawah PVD adalah $20 \text{ m} - 5 \text{ m} = 15 \text{ m}$. Dengan $q_{\text{total}} = 15,29 \text{ t/m}^2$, pemampatan hingga kedalaman PVD adalah 2,290 m. Sehingga sisa pemampatan di bawah pemasangan PVD = $2,386 - 2,290 = 0,096 \text{ meter}$.

Sehingga setelah 5 tahun, settlement yang terjadi di bawah pemasangan PVD adalah :

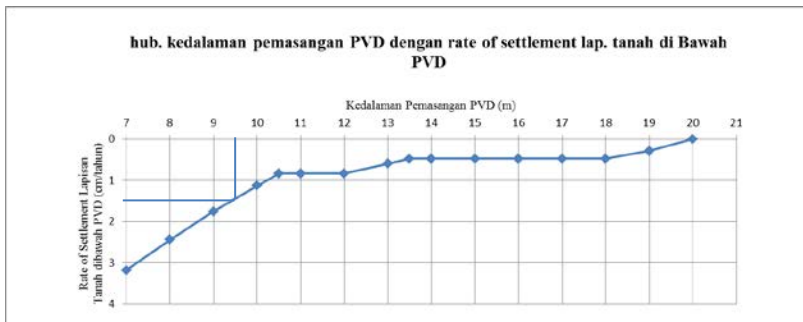
$$Sc_{5 \text{ tahun}} = \text{Sisa Settlement} \times U_v = 0,096 \times 24.77\% = 0,024 \text{ m}$$

Maka rata-rata pemampatan yang terjadi setiap tahunnya adalah :

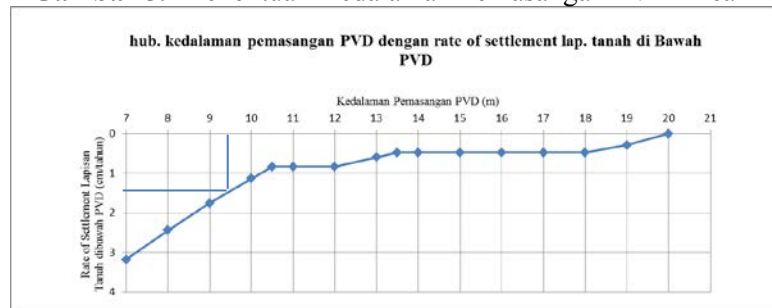
$$\text{Rate of Sett.} = 0,024 \times 100 / 5 = 0,474 \text{ cm/tahun}$$

Rate of settlement yang diijinkan adalah 1,5 cm/tahun.

Maka dilakukan coba-coba terhadap kedalaman pemasangan PVD, sehingga dihasilkan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.7 untuk Area 1, Gambar 5.8 untuk Area 2. Dari grafik diperoleh hasil bahwa dengan *Rate of settlement* yang diijinkan yaitu sebesar 1,5 cm/tahun, kedalaman PVD pada Area 1 adalah 9,5 m. Dengan cara yang sama, pada Area 2 diperoleh kedalaman PVD 9,5 m.



Gambar 5.7 Penentuan Kedalaman Pemasangan PVD Area 1



Gambar 5.8 Penentuan Kedalaman Pemasangan PVD Area 2

5.5 Penimbunan Bertahap

Pelaksanaan penimbunan di lapangan dilakukan secara bertahap dengan menggunakan asumsi kecepatan penimbunan 60 cm/minggu.

Dengan tinggi timbunan awal (H_{inisial}) yang didapat dari perhitungan pada sub bab 5.1, maka jumlah tahapan penimbunan adalah sebagai berikut :

$$H_{\text{inisial}} = 9,4 \text{ meter}$$

$$\text{Rencana Tahapan penimbunan} = 16 \text{ tahap } 0,6 \text{ m/minggu (h=9,6m)}$$

Pentahapan pada area non ORF adalah 15 pentahapan ($h=9\text{m}$), sedangkan tahapan ke 16 adalah penimbunan yang mewakili $H_{\text{surcharge}}$ 0,6 m.

5.5.1 Penentuan Tinggi Timbunan Kritis (H_{cr})

Penentuan tinggi kritis digunakan sebagai beban awal penimbunan. Tinggi penimbunan harus memperhatikan tinggi timbunan kritis (H_{cr}) yang masih mampu dipikul oleh tanah dasar agar timbunan tidak mengalami kelongsoran. Perencanaan pentahapan penimbunan dilakukan dengan memasang perkuatan disetiap 0,3m dan pentahapan 0,6m/minggu.

Karena telah dipasang perkuatan tanah, maka daya dukung tanah dasar tidaklah menjadi masalah lagi sehingga penimbunan dapat terus menerus dilakukan tanpa adanya penundaan pentahapan.

5.5.2 Perhitungan Peningkatan Kohesi *Undrained* (C_u)

Perhitungan peningkatan nilai C_u perlu dilakukan untuk menentukan apakah tanah dasar cukup mampu memikul beban timbunan tahapan selanjutnya dengan nilai C_u yang baru yang diperoleh dari penimbunan sebelumnya. Perhitungan tersebut dilakukan untuk menentukan apakah penimbunan dapat dilanjutkan atau harus dilakukan penundaan.

5.5.2.1 Menghitung Tegangan di Tiap Lapisan Tanah untuk Derajat Konsolidasi (U) 100%

Perhitungan perubahan tegangan didapat dari :

$$\sigma_1' = P_0 + \Delta P_1$$

$$\sigma_2' = \sigma_1' + \Delta P_2$$

Perhitungan di atas dilakukan seterusnya hingga tinggi timbunan kritis. Harga P_0 , σ_1' , σ_2' dan seterusnya berbeda-beda untuk setiap kedalaman tanah.

$$\Delta P_1 = 2I \times q$$

Dimana :

Untuk timbunan tidak terendam air

$$q = H_{\text{timb tahap ke-i}} \times \gamma_{\text{timbunan}}$$

Hasil perhitungan perubahan tegangan akibat beban bertahap dari tahap 1 hingga tahap 16 dengan derajat konsolidasi 100% pada area tinjau 1 dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Perubahan Tegangan Efektif Tanah di Area Tinjau 1 Akibat Penimbunan H = 9.6 m (Minggu ke-16) pada U<100%

Derajat Konsolidasi U<100%																	
Perubahan	Po'	ΔP1'	ΔP2'	ΔP3'	ΔP4'	ΔP5'	ΔP6'	ΔP7'	ΔP8'	ΔP9'	ΔP10'	ΔP11'	ΔP12'	ΔP13'	ΔP14'	ΔP15'	ΔP16'
Tegangan	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2
Tinggi Timb	H=0m	H= 0.6m	H= 1.2m	H= 1.8m	H= 2.4m	H= 3m	H= 3.6m	H= 4.2m	H= 4.8m	H= 5.4m	H= 6m	H= 6.6m	H= 7.2m	H= 7.8m	H= 8.4m	H= 8.8m	H= 9.6m
Umur Timb	-	16 minggu	15 minggu	14 minggu	13 minggu	12 minggu	11 minggu	10 minggu	9 minggu	8 minggu	7 minggu	6 minggu	5 minggu	4 minggu	3 minggu	2 minggu	1 minggu
Z / U(%)	0	0.91297	0.89881	0.88235	0.86319	0.84090	0.81497	0.78478	0.74964	0.70872	0.66105	0.60550	0.54072	0.46513	0.37678	0.27329	0.15135
1	0.383	0.94323	0.96762	0.95804	0.94047	0.91767	0.89000	0.85720	0.81866	0.77361	0.72105	0.65983	0.58855	0.50555	0.40884	0.29596	0.16353
2	1.148	0.98089	0.97645	0.96241	0.94324	0.91968	0.89158	0.85849	0.81976	0.77456	0.72189	0.66057	0.58919	0.50609	0.40928	0.29629	0.16372
3	1.913	0.99197	0.98125	0.96529	0.94527	0.92123	0.89284	0.85956	0.82069	0.77538	0.72262	0.66122	0.58976	0.50659	0.40969	0.29658	0.16389
4	2.678	0.99738	0.98427	0.96733	0.94680	0.92247	0.89388	0.86047	0.82149	0.77610	0.72327	0.66180	0.59028	0.50703	0.41006	0.29686	0.16405
5	3.443	1.00060	0.98635	0.96886	0.94801	0.92347	0.89475	0.86124	0.82219	0.77674	0.72385	0.66233	0.59075	0.50744	0.41039	0.29711	0.16419
6	4.208	1.00274	0.98787	0.97004	0.94899	0.92431	0.89549	0.86191	0.82280	0.77730	0.72437	0.66280	0.59118	0.50782	0.41071	0.29735	0.16433
7	4.946	1.00422	0.98900	0.97096	0.94977	0.92500	0.89611	0.86247	0.82332	0.77778	0.72482	0.66322	0.59155	0.50815	0.41098	0.29756	0.16445
8	5.657	1.00530	0.98986	0.97168	0.95040	0.92557	0.89663	0.86295	0.82377	0.77820	0.72521	0.66358	0.59189	0.50845	0.41123	0.29774	0.16456
9	6.368	1.00615	0.99057	0.97229	0.95095	0.92606	0.89709	0.86338	0.82418	0.77859	0.72557	0.66392	0.59220	0.50872	0.41146	0.29792	0.16402
10	7.256	1.00700	0.99129	0.97293	0.95153	0.92660	0.89760	0.86386	0.82463	0.77902	0.72598	0.66430	0.59255	0.50904	0.41173	0.29813	0.16349
12	8.165	1.00768	0.99189	0.97348	0.95203	0.92708	0.89805	0.86429	0.82504	0.77942	0.72636	0.66466	0.59289	0.50833	0.40996	0.29685	0.16295
13	9.073	1.00823	0.99239	0.97394	0.95247	0.92749	0.89844	0.86467	0.82542	0.77977	0.72671	0.66038	0.58908	0.50609	0.40937	0.29644	0.16241
15	10.21	1.00878	0.99290	0.97442	0.95293	0.92793	0.89887	0.86509	0.82583	0.78017	0.72709	0.65943	0.58825	0.50539	0.40882	0.29606	0.16187
16	11.21	1.00918	0.99328	0.97478	0.95328	0.92827	0.89921	0.86370	0.82451	0.77894	0.72596	0.65840	0.58735	0.50463	0.40822	0.29563	0.16132
17	12.01	1.00945	0.99354	0.97503	0.95352	0.92852	0.89766	0.86222	0.82310	0.77762	0.72474	0.65795	0.58637	0.50380	0.40756	0.29516	0.16074
18	12.81	1.00969	0.99377	0.97526	0.95375	0.92689	0.89609	0.86157	0.82249	0.77705	0.72422	0.65683	0.58479	0.50245	0.40649	0.29439	0.16015
19	13.56	1.00989	0.99397	0.97545	0.95204	0.92431	0.89538	0.86090	0.82186	0.77646	0.72368	0.65502	0.58378	0.50159	0.40580	0.29390	0.15891
20	14.27	1.01006	0.99413	0.97368	0.94840	0.92354	0.89465	0.85762	0.81873	0.77352	0.72095	0.65451	0.58274	0.50071	0.40469	0.29340	0.15765

(Sumber: Hasil Analisa)

5.5.2.2 Menghitung Nilai C_u Baru

Setelah menghitung penambahan tegangan efektif pada derajat konsolidasi $<100\%$, nilai C_u baru dapat dihitung. Karena harga Plasticity Index (PI) pada tanah ini kurang dari 120% maka C_u baru dihitung menggunakan Persamaan (2.19). Hasil C_u baru pada area tinjau 1 dapat dilihat di Tabel 5.7. Hasil dari area tinjau 2 dapat dilihat pada Lampiran 6.

Setelah menghitung kenaikan nilai C_u , maka dilakukan kembali analisa stabilitas timbunan menggunakan program XSTABL.

Tabel 5.7 Perubahan Nilai C_u Akibat Penimbunan $H=9,6$ m (Area1)

Kedalaman	PI	Cu Baru		Cu Pakai	Cu Lama	Cu transisi
	%	kg/cm ²	kPa	Kpa	Kpa	Kpa
0-1	53.46	0.196139	19.61387	30	30	30
1-2	53.46	0.204749	20.47491	24	24	24
2-3	53.46	0.213001	21.30011	21.30	18	19.65
3-4	53.46	0.221149	22.11487	42	42	42
4-5	53.46	0.229245	22.92446	48	48	48
5-6	53.46	0.237309	23.73091	24	24	24
6-7	21.37	0.330341	33.03409	33.03	21	27.02
7-8	21.37	0.341516	34.1516	34.15	15	24.58
8-9	21.37	0.352666	35.26656	35.27	12	23.63
9-10.5	23.38	0.360493	36.04925	36.05	18	27.02
10.5-12	23.38	0	0	0	0	0
12-13.5	23.38	0.388053	38.80528	54	54	54
13.5-15	23.38	0	0	0	0	0
15-16	23.38	0	0	0	0	0
16-17	23.38	0	0	0	0	0
17-18	23.38	0	0	0	0	0
18-19	23.38	0.455783	45.57834	45.58	30	37.79
19-20	23.38	0.466244	46.62443	84	84	84

(Sumber: Hasil Analisa)

5.5.3 Pemampatan Akibat Beban Timbunan Bertahap

Peninjauan pemampatan akibat beban timbunan bertahap perlu dilakukan untuk memastikan apakah pada saat tahap

terakhir timbunan diletakkan apakah pemampatan yang dibutuhkan sudah sesuai dengan pemampatan rencana. Hal ini dilakukan untuk mengontrol apakah dibutuhkan penundaan untuk mencapai pemampatan rencana sehingga pada saat timbunan selesai tidak terjadi konsolidasi yang berlebihan sehingga dapat merusak struktur diatasnya.

Perhitungan pemampatan tanah akibat timbunan bertahap memiliki 3 perumusan yaitu perumusan pada 2.22 2.23 dan 2.24. Contoh langkah perhitungan besarnya S_c area tinjau 1 tahap 3 minggu ke 1 lapis 1 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_{c1} &= 0,556 \\ e_{o1} &= 1,088 \\ H &= 1 \text{ m} \\ U_1 &= 16,118 \% \\ U_2 &= 29,632 \% \\ U_3 &= 40,968 \% \\ p'_o &= 0,383 \text{ t/m}^2 \\ \Delta P_1 &= 1,11 \text{ t/m}^2 \\ \Delta P_2 &= 1,11 \text{ t/m}^2 \\ \Delta P_3 &= 1,11 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Mencari S_c tahap ke 3 pada lapis tanah ke 1 minggu ke 3 memakai rumus 2.24.

$$\begin{aligned} S_c &= \frac{C_c H}{1+e_o} \log \left(\frac{p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3}{p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2} \right) \\ S_c &= \frac{0,556 \cdot 1}{1+e_o} \log \left(\frac{0,383 + 1,11 + 1,11 + 1,11}{0,383 + 1,11 + 1,11} \right) \\ S_c &= 0,0389 \text{ m} \end{aligned}$$

Langkah tersebut diulang hingga kedalaman yang 20m. S_c total untuk tahap ke 3 adalah 0,2414 m. Langkah yang sama digunakan untuk mencari S_c pada tahap 1 hingga 16. Selanjutnya adalah menghitung pemampatan pada minggu ke 3. Pada minggu ke 3 umur pada tahap 1 adalah 3 minggu, tahap 2 adalah 2 minggu, dan tahap 3 adalah 1 minggu sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S_c = S_{c1} \times U_3 + S_{c2} \times U_2 + S_{c3} \times U_1$$

$$S_c = 0,481 \times 16,1\% + 0,305 \times 29,6\% + 0,241 \times 41,0\%$$

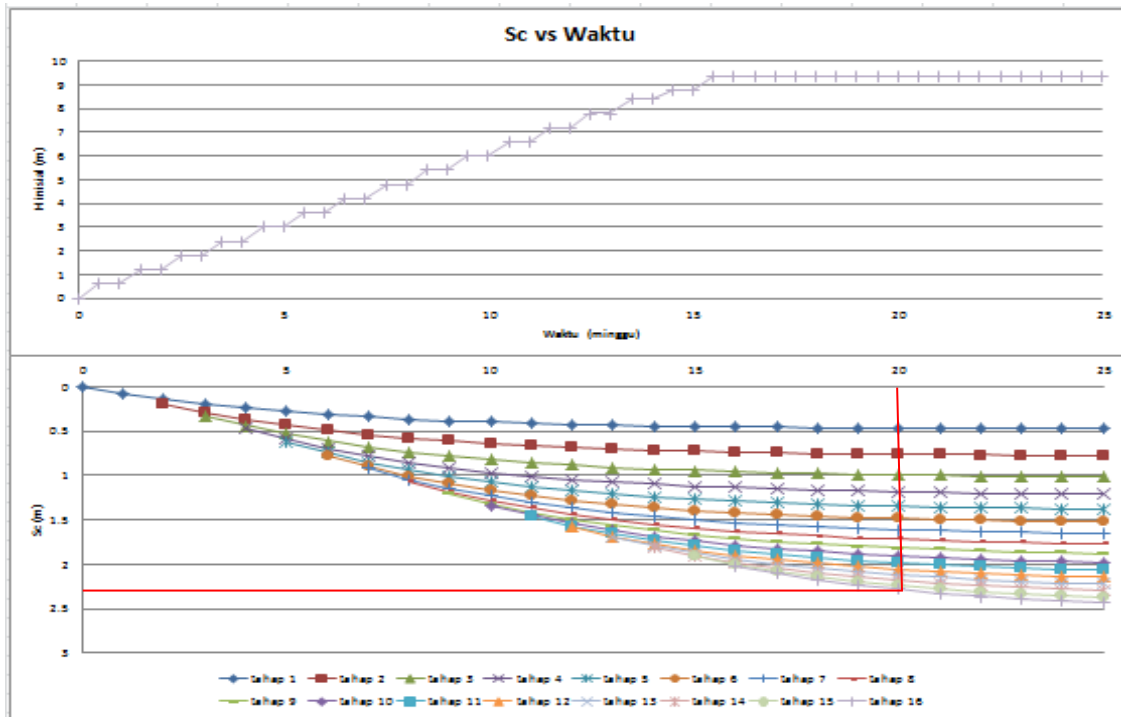
$$S_c = 0,327 \text{ m}$$

Pada tahapan penimbunan area 1 untuk tahap ke 3 minggu ke 3 tanah memampat sebesar 0,327 m. Perhitungan lengkap disajikan pada Tabel 5.8 dan gambar 5.9. Untuk mencapai pemampatan $S_c=90\%$ yakni 2,147 m dibutuhkan waktu total 20 minggu dengan 4 minggu penundaan sebelum $H_{\text{surcharge}}$ dibuang. Untuk area tinjau 2 didapatkan waktu total 13 minggu dengan 2 minggu penundaan untuk mencapai pemampatan $S_c=90\%$. Perhitungan hasil dari area tinjau 2 ada pada Lampiran 7.

Tabel 5.8 Perhitungan Pemampatan Akibat Tahapan Penimbunan Area 1

Waktu (minggu)	U (%)	Tahapan															
		tahap 1	tahap 2	tahap 3	tahap 4	tahap 5	tahap 6	tahap 7	tahap 8	tahap 9	tahap 10	tahap 11	tahap 12	tahap 13	tahap 14	tahap 15	tahap 16
0	0	0															
1	15.13519	0.077655															
2	27.32868	0.142762	0.192084														
3	37.67804	0.197376	0.288051	0.32696815													
4	46.51257	0.243191	0.368552	0.44009918	0.4723568												
5	54.07228	0.281624	0.436084	0.53500093	0.5943041	0.62202											
6	60.54983	0.313865	0.492736	0.61461289	0.6966026	0.747557	0.771932										
7	66.10487	0.340912	0.540261	0.6813993	0.78242	0.852867	0.89768	0.919473									
8	70.87163	0.363603	0.58013	0.73742684	0.8544125	0.941211	1.003167	1.043232	1.062963								
9	74.96377	0.382638	0.613577	0.78442895	0.9148077	1.015324	1.09166	1.147052	1.183326	1.201365							
10	78.47796	0.398607	0.641637	0.82385969	0.9654739	1.077498	1.165898	1.234147	1.284298	1.31746	1.334085						
11	81.49663	0.412004	0.665176	0.85693881	1.0079785	1.129656	1.228177	1.307212	1.369003	1.414852	1.445416	1.460837					
12	84.09023	0.423243	0.684924	0.88468952	1.0436365	1.173412	1.280424	1.368507	1.440063	1.496554	1.538811	1.56716	1.581545				
13	86.31902	0.432671	0.70149	0.90797017	1.0735506	1.210121	1.324254	1.419928	1.499676	1.565095	1.617161	1.656355	1.6828	1.696283			
14	88.23462	0.440581	0.715389	0.92750082	1.0986463	1.240916	1.361025	1.463067	1.549687	1.622595	1.682889	1.73118	1.767742	1.79253	1.806832		
15	89.88126	0.447217	0.727048	0.94388555	1.1196996	1.266751	1.391872	1.499256	1.591642	1.670833	1.73803	1.793953	1.839001	1.873272	1.899564	1.913052	
16	91.29687	0.452784	0.73683	0.95763109	1.1373617	1.288424	1.417751	1.529616	1.626839	1.7113	1.784288	1.846613	1.898781	1.941007	1.977357	2.002154	2.014917
17	92.51399	0.457454	0.745036	0.96916258	1.1521789	1.306607	1.439461	1.555086	1.656366	1.74525	1.823095	1.890791	1.948931	1.99783	2.042618	2.076901	2.100365
18	93.56054	0.461372	0.75192	0.97883665	1.1646094	1.32186	1.457674	1.576454	1.681137	1.77373	1.855651	1.927853	1.991003	2.0455	2.097366	2.139607	2.172047
19	94.46051	0.464659	0.757695	0.98695249	1.1750377	1.334657	1.472954	1.594379	1.701918	1.797623	1.882963	1.958945	2.026298	2.085492	2.143296	2.192212	2.232181
20	95.23448	0.467416	0.76254	0.9937611	1.1837863	1.345392	1.485772	1.609417	1.719352	1.817668	1.905876	1.985029	2.055908	2.119041	2.181827	2.236343	2.282629
21	95.90013	0.46973	0.766605	0.99947303	1.1911258	1.354399	1.496526	1.622033	1.733978	1.834484	1.925098	2.006911	2.080748	2.147187	2.214151	2.273365	2.324951
22	96.47267	0.47167	0.770015	1.00426493	1.197283	1.361954	1.505547	1.632617	1.746248	1.848591	1.941224	2.025269	2.101587	2.170799	2.241269	2.304424	2.360455
23	96.96514	0.473298	0.772876	1.00828499	1.2024485	1.368293	1.513116	1.641496	1.756541	1.860426	1.954752	2.040669	2.11907	2.190608	2.264018	2.33048	2.39024
24	97.38876	0.474664	0.775275	1.01165755	1.206782	1.373611	1.519465	1.648945	1.765177	1.870355	1.966101	2.053589	2.133736	2.207226	2.283104	2.352339	2.415228
25	97.75318	0.47581	0.777289	1.01448689	1.2104175	1.378072	1.524792	1.655194	1.772422	1.878684	1.975623	2.064428	2.146041	2.221167	2.299115	2.370677	2.43619

(sumber: Hasil Analisa)



Gambar 5.9 Grafik Hubungan Waktu dan Pemampatan Area 1

5.6 Perencanaan Tepi Timbunan

5.6.1 Perencanaan *Geotextile* sebagai Perkuatan Timbunan

Geotextile digunakan sebagai perkuatan tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar di bawah timbunan.

5.6.1.1 Perhitungan *Geotextile*

Pada perencanaan ini digunakan *geotextile* dengan *Tensile Strength* (T_{ult}) sebesar 300 kN/m.

$$T_{allow} = T_{ultimate} \left[\frac{1}{FS_{id} \times FS_{cr} \times FS_{cd} \times FS_{bd}} \right]$$

$$FS_{id} = 1,25$$

$$FS_{cd} = 1,2$$

$$FS_{cr} = 2,25$$

$$FS_{bd} = 1,2$$

$$T_{allow} = 300 \left[\frac{1}{1,25 \times 2,25 \times 1,2 \times 1,2} \right]$$

$$= 74,07 \text{ kN/m}$$

5.6.1.2 Kebutuhan *Geotextile*

Dalam perhitungan *geotextile* dibutuhkan nilai SF, jari-jari bidang longsor, momen resisten, koordinat titik pusat bidang longsor, dan momen dorong yang didapat dari hasil analisa program XSTABL. Selanjutnya menghitung kebutuhan *geotextile* untuk timbunan 8,6 m pada area tinjau 1 dengan menggunakan nilai T_{allow} dikali jarak pasang masing-masing *geotextile* terhadap titik pusat jari-jari kelongsoran hingga memenuhi $\Delta M_R \leq T_{allow} \times \sum R_i$. Jarak pemasangan *geotextile* yang direncanakan adalah 0,3 m dari dasar timbunan. Panjang *geotextile* di belakang bidang longsor (L_E) dapat dihitung dengan persamaan (2.52) dan (2.53) dengan nilai efisiensi (E) adalah 80%.

Panjang *geotextile* di depan bidang longsor (L_R) dapat dihitung dengan menggambar timbunan, bidang longsor, dan panjang *geotextile* di belakang bidang longsor (L_E) pada program bantu gambar. Dari gambar tersebut dapat diperoleh panjang total *geotextile* dari penjumlahan panjang *geotextile* di belakang bidang longsor (L_E), di depan bidang longsor (L_R).

Sehingga timbunan tidak longsor. Gambar pemasangan geotextile dapat dilihat pada Gambar 5.5.

Berikut adalah contoh perhitungan kebutuhan dan panjang *geotextile* pada area tinjau 1 :

Dari analisa program bantu XSTABL didapat :

$$SF = 0,897$$

$$R = 37,53 \text{ m}$$

$$M_R = 68560 \text{ kNm}$$

$$M_D = \frac{M_R}{SF} = 76433 \text{ kNm}$$

$$SF_{rencana} = 1.5$$

$$\Delta M_R = (SF_{rencana} * M_D) - M_R \\ = 46088,8 \text{ kNm}$$

Dari hasil perhitungan $\Delta M_R \leq T_{allow} \times \sum R_i$, didapat kebutuhan *geotextile* sebanyak 27 lapis dengan jumlah lapis masing-masing 1 lembar.

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Tanah timbunan: } \phi &= 25^\circ \\ C &= 0 \text{ t/m}^2 \\ \gamma_{sat} &= 1.95 \text{ t/m}^2 \\ \gamma_{timb} &= 1.85 \text{ t/m}^2 \\ \gamma' &= 1.0 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.53) :

$$\tau = C + \sigma' \tan \delta$$

$$\tau_1 = 0 + \gamma' \cdot h \cdot \tan(25^\circ) = 7,64 \text{ t/m}^2$$

$$\tau_2 = 30 + \gamma' \cdot h \cdot \tan(0) = 3 \text{ t/m}^2$$

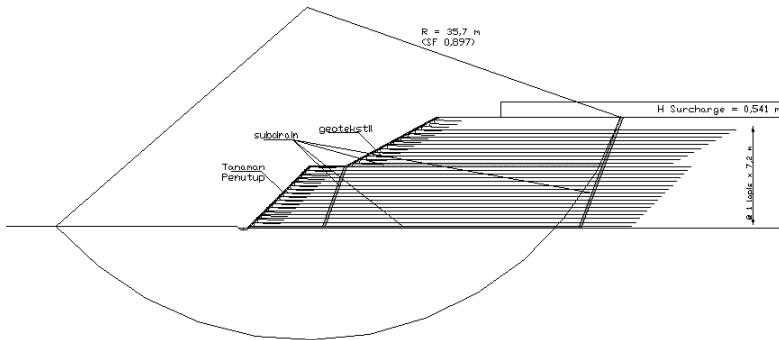
Maka panjang *geotextile* di belakang bidang longsor pada lapis pertama adalah:

$$L_e = \frac{T_{allow} SF_{rencana}}{2\tau_i E}$$

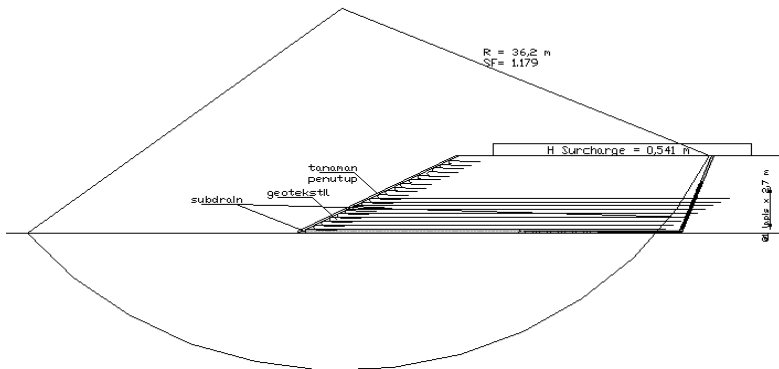
$$L_e = 1,290 \text{ m}$$

Dari Gambar 5.7 didapatkan panjang *geotextile* di depan bidang longsor (L_d) adalah 31,03 m untuk lapis pertama. Sedangkan panjang *geotekstil* lipatan (L_o) adalah 2 m. Untuk mempermudah pemasangan di lapangan digunakan panjang rencana yang sama. Panjang rencana *geotekstil* dibagi menjadi 2 bagian, yakni pada

dasar timbunan hingga lapis ke 17, dan lapis ke 18 hingga 27. Panjang total rencana pada geotekstil lapis 1 hingga 17 adalah nilai maksimal dari $L_e + L_d + L_o$ dari 17 lapis, yakni 34,3 m dibulatkan menjadi 35m, sedangkan pada lapis 18 hingga 27 dibutuhkan panjang geotekstil 29,764 m dan dibulatkan menjadi 30 m. Panjang geotekstil total yang dibutuhkan untuk area tinjau 1 adalah 894 m. Pada area 2 dibutuhkan 9 lapis dengan panjang geotekstil total yang dibutuhkan adalah 319 m. Tabel panjang pemasangan geotekstil disajikan pada Tabel 5.9. Gambar pemasangan geotekstil pada area tinjau 1 dapat dilihat pada Gambar 5.10 dan 5.11. Perhitungan area 2 ada pada Lampiran 8.



Gambar 5.10 Pemasangan Geotekstil pada Area 1



Gambar 5.11 Pemasangan Geotekstil pada Area 2

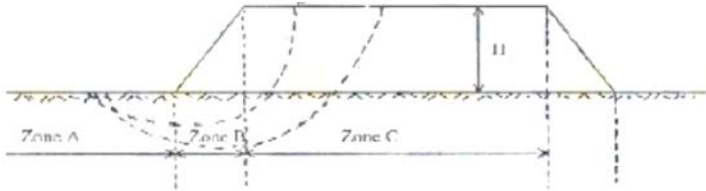
Tabel 5.9 Perhitungan Panjang Geotekstil pada Area Tinjau 1

Lapis	Hi m	Ti m	τ_1 kN/m ²	τ_2 kN/m ²	Jumlah gtkstl Buah	Mgeotextile kNm	Σ Mgeotekstile kNm	Le m	Ld m	Lo m	Ltotal m	Lrencana m	Kontrol
1	9	26.59613	77.640	30.000	1	1970.083333	1970.083	1.290	31.03	2	34.320	35.000	NOT OK
2	8.7	26.34613	75.052	75.052	1	1951.564815	3921.648	0.925	30.73	2	33.655	35.000	NOT OK
3	8.4	26.09613	72.464	72.464	1	1933.046296	5854.694	0.958	30.43	2	33.388	35.000	NOT OK
4	8.1	25.84613	69.876	69.876	1	1914.527778	7769.222	0.994	30.13	2	33.124	35.000	NOT OK
5	7.8	25.59613	67.288	67.288	1	1896.009259	9665.231	1.032	29.83	2	32.862	35.000	NOT OK
6	7.5	25.34613	64.700	64.700	1	1877.490741	11542.722	1.073	29.53	2	32.603	35.000	NOT OK
7	7.2	25.09613	62.112	62.112	1	1858.972222	13401.694	1.118	29.23	2	32.348	35.000	NOT OK
8	6.9	24.84613	59.524	59.524	1	1840.453704	15242.148	1.167	28.93	2	32.097	35.000	NOT OK
9	6.6	24.59613	56.936	56.936	1	1821.935185	17064.083	1.220	29.31	2	32.530	35.000	NOT OK
10	6.3	24.34613	54.348	54.348	1	1803.416667	18867.500	1.278	29.01	2	32.288	35.000	NOT OK
11	6	24.09613	51.760	51.760	1	1784.898148	20652.398	1.342	29.37	2	32.712	35.000	NOT OK
12	5.7	23.84613	49.172	49.172	1	1766.37963	22418.778	1.412	29.71	2	33.122	35.000	NOT OK
13	5.4	23.59613	46.584	46.584	1	1747.861111	24166.639	1.491	30.03	2	33.521	35.000	NOT OK
14	5.1	23.34613	43.996	43.996	1	1729.342593	25895.981	1.578	30.33	2	33.908	35.000	NOT OK
15	4.8	23.09613	41.408	41.408	1	1710.824074	27606.806	1.677	30.61	2	34.287	35.000	NOT OK
16	4.5	22.84613	38.820	38.820	1	1692.305556	29299.111	1.789	30.87	2	34.659	35.000	NOT OK
17	4.2	22.59613	36.232	36.232	1	1673.787037	30972.898	1.917	25.77	2	29.687	30.000	NOT OK
18	3.9	22.34613	33.644	33.644	1	1655.268519	32628.167	2.064	25.7	2	29.764	30.000	NOT OK
19	3.6	22.09613	31.056	31.056	1	1636.75	34264.917	2.236	25.1	2	29.336	30.000	NOT OK
20	3.3	21.84613	28.468	28.468	1	1618.231481	35883.148	2.439	25.01	2	29.449	30.000	NOT OK
21	3	21.59613	25.880	25.880	1	1599.712963	37482.861	2.683	24.41	2	29.093	30.000	NOT OK
22	2.7	21.34613	23.292	23.292	1	1581.194444	39064.056	2.981	24.3	2	29.281	30.000	NOT OK
23	2.4	21.09613	20.704	20.704	1	1562.675926	40626.731	3.354	23.7	2	29.054	30.000	NOT OK
24	2.1	20.84613	18.116	18.116	1	1544.157407	42170.889	3.833	23.1	2	28.933	30.000	NOT OK
25	1.8	20.59613	15.528	15.528	1	1525.638889	43696.528	4.472	22.5	2	28.972	30.000	NOT OK
26	1.5	20.34613	12.940	12.940	1	1507.12037	45203.648	5.367	21.9	2	29.267	30.000	NOT OK
27	1.2	20.09613	10.352	10.352	1	1488.601852	46692.250	6.708	21.3	2	30.008	30.008	OK
28	0.9	19.84613	7.764	7.764	0	0	46692.250	8.944	20.92	2	31.864	2.000	OK
29	0.6	19.59613	5.176	5.176	0	0	46692.250	13.417	20.32	2	35.737	2.000	OK

(Sumber: Hasil Analisa)

5.6.2 Perencanaan Cerucuk sebagai Perkuatan Timbunan

Cerucuk digunakan sebagai alternatif perkuatan selain geotekstil untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar. Perencanaan cerucuk dibagi menjadi 3 zona, yaitu Zona A dengan nilai C_u asli, Zona B dengan nilai C_u Transisi, Zona C dengan nilai C_u Baru seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.12.

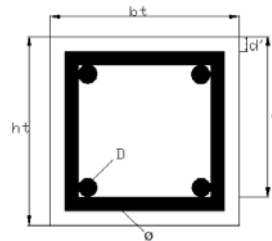


Gambar 5.12 Pembagian Zona Kekuatan Tanah

5.6.2.1 Perhitungan Cerucuk

Pada perencanaan ini digunakan cerucuk dengan spesifikasi beton mutu K-450 dengan ukuran 20 cm x 20 cm.

- b_t = 20 cm
- h_t = 20 cm
- f_y' = 400 Mpa
- f_c' = 30 Mpa
- D = 16mm
- \emptyset = 8 mm
- d' = 40mm
- M_u = 2,987 t-m



Dengan menggunakan persamaan (2.42) didapatkan faktor kekuatan relatif cerucuk per-meter dengan kekuatan 1 tiang. Contoh berikut ini adalah perencanaan cerucuk pada Zona A C_u tanah asli:

$$T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}}$$

nilai f didapatkan dari grafik NAFVAC, DM-7, 1971 (Gambar 2.9) dengan nilai C_u tanah asli = 0,26 kg/cm² dan q_u = 0,52 kg/cm² didapatkan nilai f = 0,192 kg/cm³

$$T = \left(\frac{250000 \cdot (1/12 \cdot 20 \cdot 20^3)}{0,192} \right)^{\frac{1}{5}} = 111,66 \text{ cm}$$

Gaya horisontal yang mampu diterima 1 buah mikropile

$$P = Mu / (Fm \cdot T)$$

$$P = 298,7 / (1,111,66)$$

$$P = 2,675 \text{ ton} = 26,75 \text{ kN}$$

5.6.2.2 Kebutuhan Cerucuk

Jumlah mikropile yang dibutuhkan menggunakan persamaan (2.47) dengan angka keamanan 1,5. ΔMr didapatkan dari perhitungan geotekstil 76376,98 kNm dengan masing-masing Cu zona kekuatan tanah menerima 1/3 dari ΔMr .

$$F_k = 2,643 [(0,89 + 0,12 L/D)/2,69] \times [(0,855 Cu^{-0,392})/2,865]$$

$$F_k = 0,466$$

$$n = \Delta Mr / (P \times R)$$

$$= 46088,83 \times (1/3) / (1,937,27,59 \times 37,53)$$

$$n = 9,609 \sim 10 \text{ buah}$$

Dengan cara yang sama didapatkan jumlah cerucuk pada Tabel berikut ini:

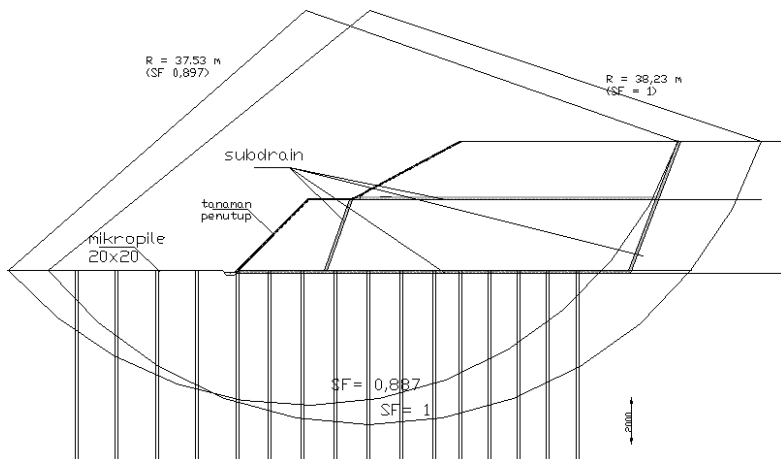
Tabel 5.10 Jumlah Kebutuhan Cerucuk Area 1

No	Area 1	n
1	Cu Tanah Asli	10
2	Cu Transisi	10
3	Cu PVD	11
	Total (/m')	31

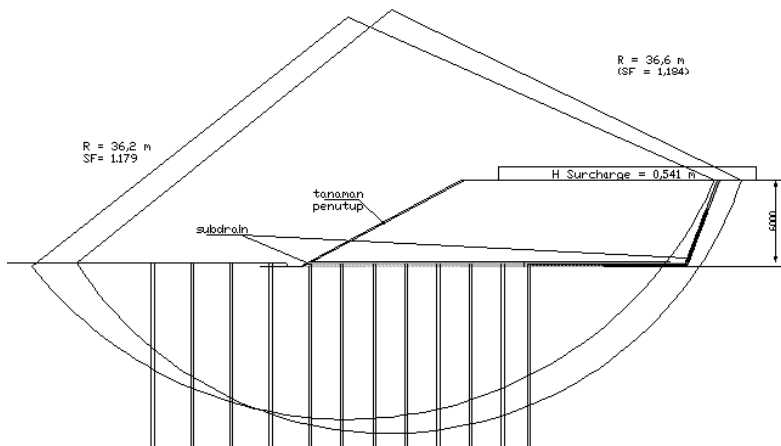
(sumber: Hasil Analisa)

Perhitungan pada area tinjau 2 ada pada lampiran 9. Pemasangan cerucuk direncanakan *zig-zag* untuk menghindari tanah yang longsor dari sela-sela cerucuk seperti pada Gambar 5.13.

Panjang Cerucuk yang dibutuhkan adalah 2 m dibawah SF 1 yakni dibutuhkan 14 m



Gambar 5.13 Pemasangan Cerucuk Area 1



Gambar 5.14 Pemasangan Cerucuk Area 2

5.6.3 Perencanaan Perkuatan Kombinasi *Geotextile* dan *Cerucuk*

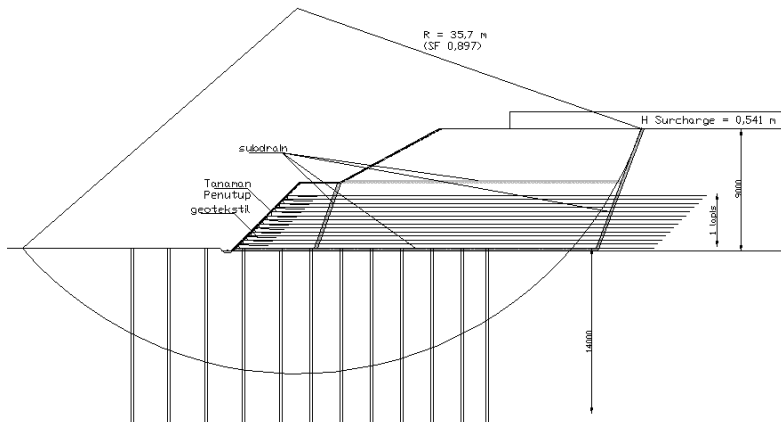
Pada perencanaan perkuatan kombinasi ini, momen dorong yang diterima oleh geotekstil adalah setengah sedangkan setengahnya lagi diterima oleh cerucuk.

Dengan menggunakan persamaan pada sub bab 5.6.1 didapatkan jumlah geotekstil pada area 1 adalah 12 lapis dengan panjang geotekstil total yang dibutuhkan 346 m.

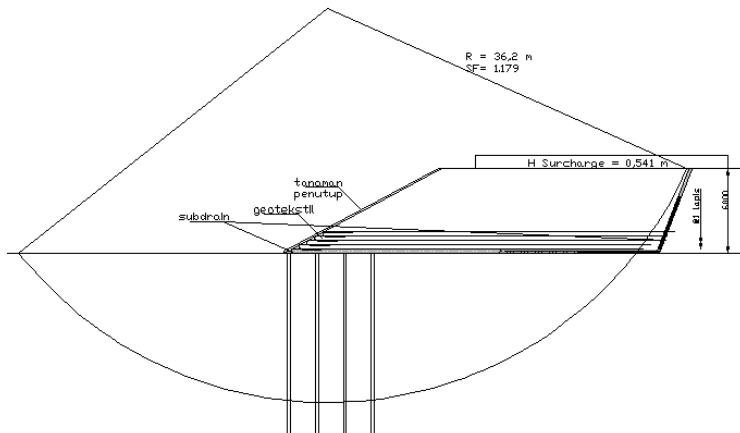
Pada perhitungan kebutuhan cerucuk menggunakan persamaan pada sub bab 5.6.2. yakni:

$$\begin{aligned} n &= \Delta M_r / (P \times R) \\ &= (7681,47) / (27.59 \times 0.741 \times 37,53) \\ &= 4 \text{ buah (Zona Tanah asli)} \end{aligned}$$

Perencanaan perkuatan kombinasi geotekstil dan cerucuk membutuhkan 14 lapis geotekstil dan 12 buah cerucuk. Perhitungan lengkap perkuatan kombinasi ada pada lampiran 9. Pemasangan perkuatan kombinasi ada pada Gambar 5.14



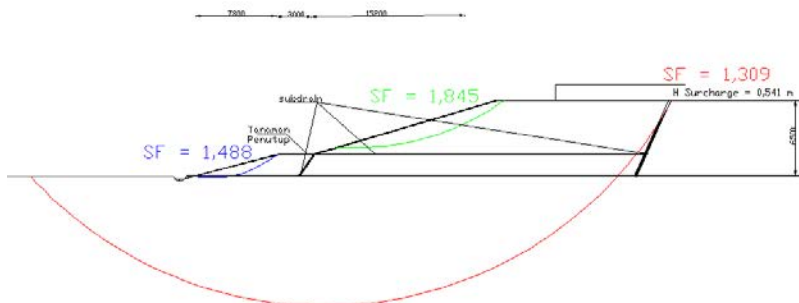
Gambar 5.15 Pemasangan Geotekstil dan Cerucuk pada Area 1



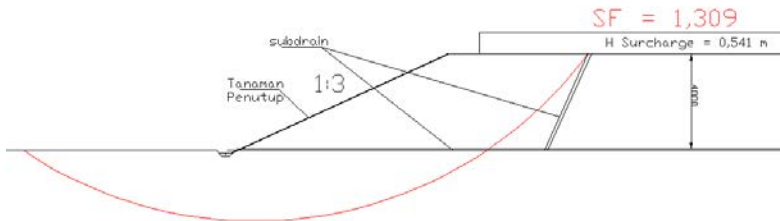
Gambar 5.16 Pemasangan Geotekstil dan Cerucuk pada Area 2

5.6.4 Perencanaan Tepi Timbunan Tanpa Perkuatan

Perencanaan tepi timbunan dapat dilaksanakan tanpa perkuatan sama sekali dengan mengandalkan kemiringan (*slope*) dari tepi timbunan. Dengan program bantu *XSTABL* didapatkan *slope* 1:4 dengan *safety factor* 1,3.



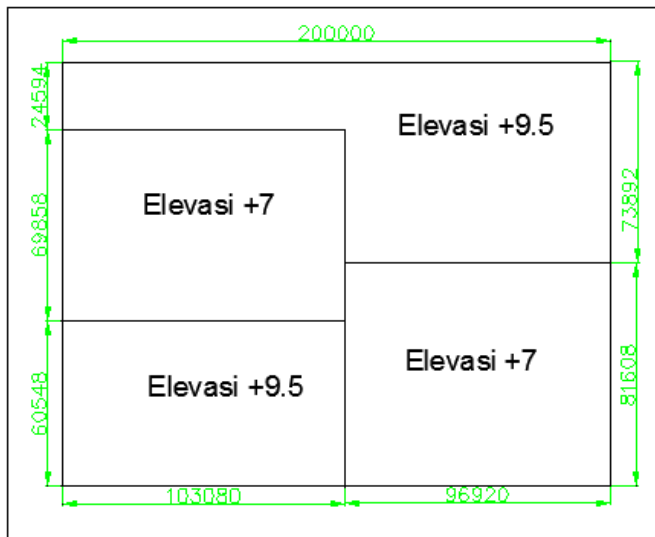
Gambar 5.17 Perencanaan dengan slope 1:4 Area 1



Gambar 5.18 Perencanaan dengan slope 1:3 Area 2

5.6.5 Perhitungan Biaya

Setelah mendapatkan hasil perhitungan jumlah masing-masing perkuatan yang dibutuhkan, selanjutnya adalah perhitungan biaya untuk menentukan perkuatan timbunan yang ekonomis. Dari perhitungan biaya didapatkan harga paling ekonomis pada perencanaan perkuatan dengan geotekstil dengan biaya yakni Rp 10,150,465,976.00 . Hasil perbandingan perhitungan lengkap ada pada Tabel 5.13



Gambar 5.19 Elevasi pada daerah Proyek

Tabel 5.11 Perhitungan Biaya Untuk Elevasi +7

No	Jenis Perkuatan	Jumlah item	Satuan	Panjang (m)	Harga per Satuan	Harga Total
1	Geotekstil	866	m'	248.386	Rp28,000.00	Rp6,022,863,728.00
2	Cerucuk	31	buah	248.386	Rp3,400,000.00	Rp26,179,884,400.00
3	Kombinasi					
	Geotekstil	430	m'	248.386	Rp28,000.00	Rp13,124,716,240.00
	Cerucuk	12	buah	248.386	Rp3,400,000.00	

(sumber: Hasil Analisa)

Tabel 5.12 Perhitungan Biaya Untuk Elevasi +9.5

No	Jenis Perkuatan	Jumlah item	Satuan	Panjang (m)	Harga per Satuan	Harga Total
1	Geotekstil	319	m'	462.114	Rp28,000.00	Rp4,127,602,248.00
2	Cerucuk	9	buah	462.114	Rp3,400,000.00	Rp14,140,688,400.00
3	Kombinasi					
	Geotekstil	148	m'	462.114	Rp28,000.00	Rp8,199,750,816.00
	Cerucuk	4	buah		Rp3,400,000.00	

(sumber: Hasil Analisa)

Tabel 5.13 Perhitungan Biaya Total

No	Jenis Perkuatan	Harga Total
1	Geotekstil	Rp10,150,465,976.00
2	Cerucuk	Rp40,320,572,800.00
3	Kombinasi	
	Geotekstil	Rp21,324,467,056.00
	Cerucuk	

(sumber: Hasil Analisa)

5.7 Perencanaan Pondasi

Perencanaan pondasi pada *receiving facility* ini direncanakan menggunakan pondasi dangkal. Pondasi dangkal yang digunakan adalah pondasi telapak pada area 1 *metering gas* dan area 2 *pig launcher* sedangkan pondasi rakit pada area 1 *knockout drum*, *closed drain drum* dan *flare*. Pemilihan pondasi rakit didasarkan apabila luas pondasi yang dibutuhkan cukup lebar sehingga terjadi *overlapping* antar kolom.

5.7.1 Analisa Pembebanan

5.7.1.1 Analisa Beban Gravitasi

Pada analisa pondasi penting untuk diketahui seberapa besar beban yang bekerja pada setiap alat. Berikut ini adalah contoh dari perhitungan Area 1 untuk pondasi *knock out drum*, *closed drain drum*, dan *flare*.

Tabel 5.14 Beban *Equipment Area 1*

Jumlah	Alat	Empty	Volume	Operating
		(kg)	(m3)	(kg)
2	Knock Out Drum	44390	104	148390
2	Drain Drum	5070	6,01	11080
2	Flare	7394,7	21,195	28589,7

(Sumber: Hasil Analisa)

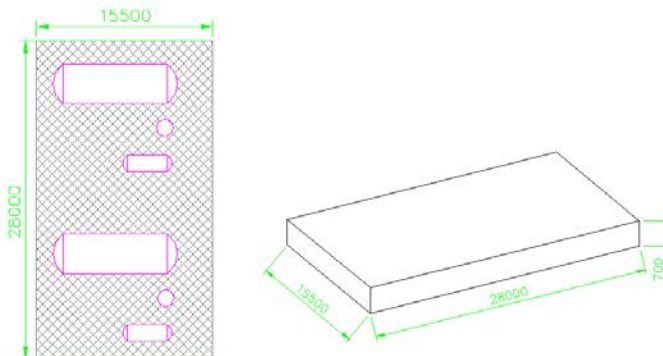
Data perencanaan pondasi rakit pada Area 1 untuk pondasi *knock out drum*, *closed drain drum*, dan *flare* adalah sebagai berikut:

Panjang pondasi (L) = 28 m

Lebar pondasi (B) = 15,5 m

Tebal pondasi (t) = 0,7 m

Kedalaman pondasi (D) = 0,7 m



Gambar 5.20 *Layout Pondasi Rakit*

Beban *equipment* dan pondasi total adalah:

$$P = 2.(Knockout\ drum) + 2.(Closed\ drain\ drum) + 2.(Flare) + \text{Pondasi}$$

$$P = 2.(148390) + 2.(11080) + 2.(28589,7) + (28 \times 15,5 \times 0,7 \times 2400)$$

$$P = 896919,4 \text{ kg} = 9868,2 \text{ kN}$$

Perencanaan desain pondasi telapak dan nilai P untuk pondasi lainnya tersaji dalam Tabel 5.15. Nilai n adalah jumlah pondasi yang direncanakan dalam 1 *equipment*.

Tabel 5.15 *Preliminary* dan Nilai P Pada Setiap Pondasi

No	Keterangan	Equipment		
		Area 1	Area 2	
		Gas Metering	Pig Launcher 16"	Pig Launcher 20"
1	B (m)	1.5	1.25	1.25
2	L (m)	1.5	1.25	1.25
3	D (m)	0.3	0.3	0.3
4	t (m)	0.3	0.3	0.3
5	P (kN)	252	37.4	57.6
6	n (jumlah pondasi telapak)	6	2	2
7	P' (kN)	42	18.7	28.8

(Sumber: Hasil Analisa)

5.7.2 Daya Dukung Tanah

Perhitungan daya dukung tanah pondasi rakit ini menggunakan metode Hansen karena pada perencanaan pondasi dangkal bentuk dari penampang pada pondasi rakit adalah persegi panjang.

Dalam perencanaan pondasi dengan metode Hansen, diperlukan nilai eksentrisitas penampang untuk mengetahui parameter-parameter dalam menghitung nilai q_{ult} dari pondasi. Eksentrisitas penampang merupakan jarak antara pusat penampang pondasi rakit dengan pusat beban struktur.

Perhitungan titik berat setiap beban *equipment* dan pondasi tertuang dalam Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Titik Berat Beban *Equipment* dan Pondasi

No	Equipment	W	kg	x	(m)	y	(m)
1	CD Drum	w1	11080	x1=	9.75	y1=	2.25
2	Flare	w2	28589.7	x2=	11.5	y2=	5.25
3	KO Drum	w3	148390	x3=	6.86	y3=	9.25
4	CD Drum	w4	11080	x4=	9.75	y4=	17.25
5	Flare	w5	28589.7	x5=	11.5	y5=	20.25
6	KO Drum	w6	148390	x6=	6.86	y6=	24.25
7	Pondasi	w7	520800	x7=	7.75	y7=	14

(Sumber: Hasil Analisa)

Titik berat untuk sumbu x,

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i x_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

$$x = 7,744 \text{ m}$$

Titik berat untuk sumbu y,

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i y_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

$$y = 14,73 \text{ m}$$

Dengan demikian didapatkan:

- Eksentrisitas arah x (e_x)

$$e_x = B/2 - x$$

$$e_x = 0,06 \text{ m}$$

- Eksentrisitas arah y (e_y)

$$e_y = L/2 - y$$

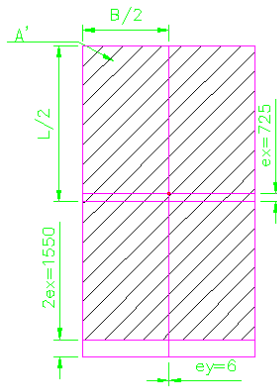
$$e_y = 0,725 \text{ m}$$

Dengan adanya eksentrisitas maka luas penampang pondasi yang dapat menahan beban akan tereduksi menjadi luas penampang efektif seperti pada Gambar 5.20. Maka panjang, lebar dan luas efektif pondasi :

$$L' = 26,55 \text{ m}$$

$$B' = 15,49 \text{ m}$$

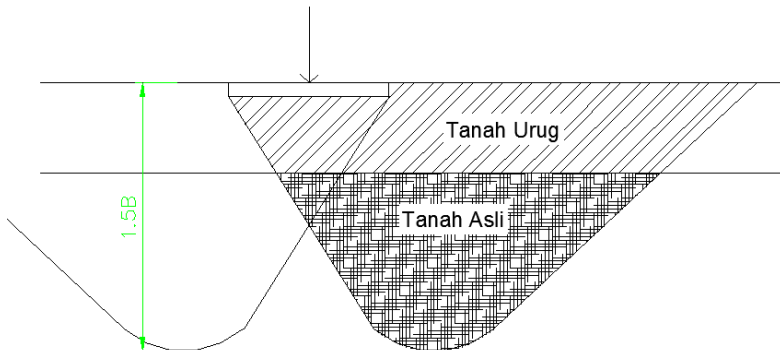
$$A' = 411,2 \text{ m}^2$$



Gambar 5.21 Luas Penampang Efektif

Rumus untuk menghitung kapasitas dukung untuk tanah berlapis adalah

$$q = \frac{q_1 \cdot A_1 + q_2 \cdot A_2 + q_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + A_n}$$



Gambar 5.22 Luasan Bidang Pengaruh Pondasi

Contoh perhitungan faktor daya dukung, kemiringan beban, bentuk pondasi dihitung berdasarkan persamaan untuk metode Hansen pada tanah urug:

$$N_q = 10.7, N_c = 20.7 \text{ dan } N_y = 6.8$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi = 1 + \frac{15.49}{26.55} \tan 0 = 1$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B}{L} = 1 + \frac{10.7}{6.6} \cdot \frac{15.49}{26.55} = 1.945$$

$$s_y = 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 1 - 0.4 \frac{15.49}{26.55} = 0.77$$

$$d_c = 1 + 0.4 k = 1 + 0.4 (0.7/15.5) = 1.03$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi) k$$

$$1 + 2 \tan 0 (1 - \sin 0) (0.7/15.5) = 1$$

$$d_y = 1$$

Faktor reduksi akibat penggunaan pondasi yang sangat lebar (Bowless, 1988)

$$r_y = 1 - 0.25 \log 0.5 B$$

$$r_y = 0.78$$

maka didapatkan daya dukung ultimit

$$q_{ult} = c' N_c s_c i_c d_c + \gamma D N_q s_q i_q d_q + 0.5 \gamma B N_y s_y i_y d_y r_y$$

$$q_{ult} = 86650 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{allow} = \frac{q_{ult}}{SF}$$

$$q_{allow} = \frac{86650}{3} = 28883 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Didapat nilai q_{allow} untuk tanah urug adalah 28883 kg/m², untuk nilai q pada setiap lapisan tanah dibawahnya hingga 1,5B adalah sebagai berikut:

Tabel 5.17 Perhitungan q Ijin Tiap Lapis

Nama lapisan	q (kg/m ²)	q _{allow} (kg/m ²)	A (m ²)
Tanah Urug	86650	28883.3	346.73
Tanah Lapis 1	19300	6433.3	142.15
Tanah Lapis 2	25240	8413.3	44.08
Tanah Lapis 3	185400	61800	15.29
Tanah Lapis 4	376100	125366.7	10.28
Tanah Lapis 5	20300	6766.7	5.62
Tanah Lapis 6	1826300	608766.7	1.24

(Sumber: Hasil Analisa)

Sehingga daya dukung tanah

$$q_{\text{allow}} = \frac{q_u.A_u + q_1.A_1 + q_2.A_2 + q_3.A_3 + q_4.A_4 + q_5.A_5 + q_6.A_6}{A_u + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6}$$

$$q_{\text{allow}} = 25339.44 \text{ kg/m}^2 = 253,4 \text{ kN/m}^2$$

Tabel 5.18 q_{allow} pada pondasi telapak *gas metering*, *pig launcher 16"* dan *Pig Launcher 20"*

Keterangan	Equipment		
	Area 1	Area 2	
	Gas Metering	Pig Launcher 16"	Pig Launcher 20"
q_{allow} (kPa)	52.72	42.44	42.44

(Sumber: Hasil Analisa)

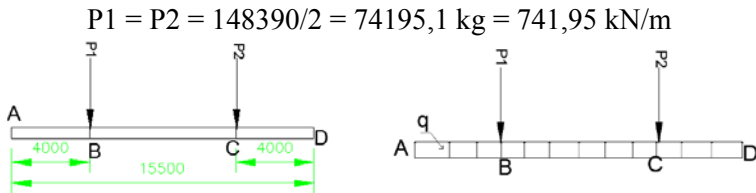
5.7.3 Kontrol Tebal Pelat

5.7.3.1 Kontrol Keruntuhan Geser Satu Arah

Untuk mengontrol gaya yang bekerja pada pelat, diambil beban terbesar yang bekerja pada pondasi yakni *knockout drum* dengan $W = 148390 \text{ kg}$.

$$q = \frac{P}{B}$$

$$q = \frac{148390}{15,5} = 9573,55 \text{ kg/m} = 95,73 \text{ kN/m}$$



Gambar 5.23 Gaya yang Bekerja pada Penampang

Perhitungan Gaya Lintang

$$D_A = 0$$

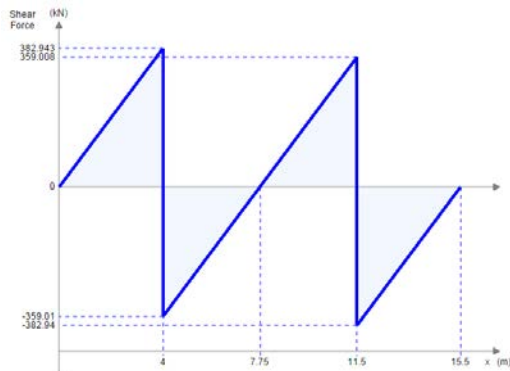
$$D_{B\text{kiri}} = 95,73 \times 4 = 382,94 \text{ kN}$$

$$D_{B\text{kanan}} = 95,73 \times 4 - 741,95 = -359,01 \text{ kN}$$

$$D_{C\text{kiri}} = 95,73 \times 11,5 - 741,95 = -382,94 \text{ kN}$$

$$D_{C\text{kanan}} = -95,73 \times 4 + 741,95 = 359,01 \text{ kN}$$

$$D_D = 0$$



Gambar 5.24 Bidang Geser Pondasi

Menentukan Tebal Pelat Pondasi Minimum

$$V_{\max} = 382,94 \text{ kN} = 382940 \text{ N}$$

$$V_c = 1/6 \sqrt{f_c} B w d$$

Diketahui

$$F_c = 30 \text{ mpa}$$

$$B w = 1000 \text{ mm}$$

$$d = \text{Tebal pondasi}$$

$\phi = 0,6$ (keruntuhan geser)

Kontrol keruntuhan geser satu arah

Apabila $V_u \leq \phi V_c$ maka Tebal Pondasi Aman

$V_u \leq \phi V_c$

$382940 \leq 0,6 \times 1/6 \times \sqrt{30} \ 1000 \ d$

$382940 \leq 547,7 \ d$

$d \leq 699 \text{ mm}$

$d \ 699\text{mm} \leq D = 700\text{mm}$ (Oke)

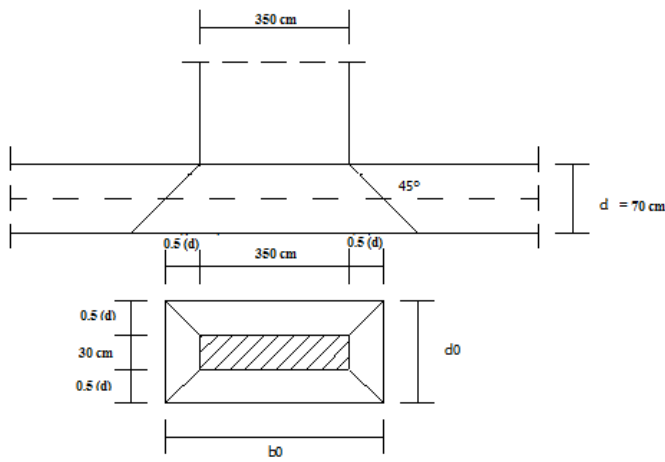
Tebal plat minimum untuk pondasi lainnya ada pada Tabel 5.19

Tabel 5.19 Tebal Plat Minimum

No	Keterangan	Equipment			
		Area 1		Area 2	
		Area 1 (B) P. Rakl	Gas Metering	Pig Launcher 16"	Pig Launcher 20"
1	Vmax (N)	382940	21000	9350	14400
2	Vc (*d)	5477	821.5838363	684.6531969	684.6531969
3	D (cm)	70	30	30	30
4	tebal plat minimum (cm)	69.91783823	25.56038602	13.6565491	21.03254621
5	Kontrol	Ok!	Ok!	Ok!	Ok!

(sumber: Hasil Analisa)

5.7.3.2 Kontrol Keruntuhan Geser Dua Arah (Pons)



Gambar 5.25 Bidang Geser Pons

Besarnya kapasitas geser beton pada keruntuhan geser dua arah(geser-pons) dari pondasi, pada penampang kritis sejarak $d/2$,ditentukan nilai terkecil dari persamaan berikut :

$$V_c = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f_c} \cdot u \cdot d$$

$$V_c = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{30} \cdot ((2(2x(700) + 300) + (2(2x(700) + 3500))x 700$$

$$V_c = 20448309,81 \text{ N}$$

Gaya geser ultimate:

$$V_n = 741950 \text{ N (beban 1/2 KO Drum)}$$

$$V_{u_c} = \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) x \left(\frac{\sqrt{f_c}}{6}\right) x u x d$$

$$V_{u_c} = \left(1 + \frac{2}{3500/700}\right) x \left(\frac{\sqrt{30}}{6}\right) x 16000 x 700$$

$$V_{u_c} = 14313816,17 \text{ N}$$

Kontrol geser pons

i. $V_n \leq V_{u_c}$

$$741.950 \text{ N} \leq 14.313.816,17 \text{ N (OK)}$$

ii. $V_c > V_{u_c}$

$$20.448.309,81 \text{ N} > 14.313.815,17 \text{ KN (OK)}$$

Tabel 5.20 Kontrol Geser Pons

No	Keterangan	Equipment		
		Gas Metering	Pig Launcher 16"	Pig Launcher 20"
1	b kolom (mm)	200	350	350
2	l kolom (mm)	200	200	200
3	t (m)	0.3	0.2	0.25
4	V_c	985900.60	803326.42	1049801.57
5	V_{u_c}	492951.78	401663.67	524901.53
6	V_n	42000.00	18700.00	28800.00
7	Kontrol ($V_c > V_{u_c} \geq V_n$)	Ok!	Ok!	Ok!

(sumber: Hasil Analisa)

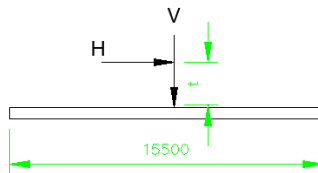
5.7.4 Analisa Beban Gempa

Pembebanan gempa pada struktur mengacu pada SNI-1726-2012 “Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung”. Dengan mengacu pada peta SNI di dapatkan nilai $C = 0,333$, $I = 1,5$ dan $R = 3,5$

Besarnya beban gempa nominal pada struktur bangunan,

$$H = \frac{W C I}{R}$$

$$H = \frac{356710.0,333.1,5}{3,5} = 50958,57 \text{ kg}$$



Gambar 5.26 Gaya Horizontal Akibat Gempa

Titik beban horizontal yang bekerja akibat gempa adalah titik pusat dari massa beban total setinggi t yang didapat menggunakan rumus (2.84)

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i t_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Tabel 5.21 Tinggi Titik Pusat Massa *Equipment* dan Pondasi

No	Equipment	W	kg	t	m
1	CD Drum	w1	11080	t1	1.25
2	Flare	w2	28589.7	t2	3.25
3	KO Drum	w3	148390	t3	2.75
4	CD Drum	w4	11080	t4	1.25
5	Flare	w5	28589.7	t5	3.25
6	KO Drum	w6	148390	t6	2.75
7	Pondasi	w7	520800	t7	0.35

(Sumber: Hasil Analisa)

Sehingga didapatkan nilai $t = 1,06$ m dari permukaan tanah. Sedangkan untuk pondasi lainnya didapat nilai H dan t yang tersaji dalam Tabel 5.22

Tabel 5.22 Nilai H dan Titik Berat Pada Pondasi *Gas Metering* dan *Pig Launcher*

No	Keterangan	Equipment		
		Gas Metering	Pig Launcher 16"	Pig Launcher 20"
1	H (kN)	5.99	2.67	4.11
2	titik berat H	1.71	1.23	1.27

(Sumber: Hasil Analisa)

5.7.5 Kontrol Stabilitas Bangunan

5.7.5.1 Kontrol Stabilitas Terhadap Keruntuhan Kapasitas Daya Dukung Tanah

Diketahui dari parameter sebelumnya adalah:

$$P = 896919,4 \text{ kg}$$

$$A = 434 \text{ m}^2$$

$$W = \frac{1}{6} B^2 H$$

$$= \frac{1}{6} \cdot 15,5^2 \cdot 28 = 2322,42 \text{ m}^4$$

$$\Sigma M = H \cdot t + P \cdot e_x$$

$$= 50958 \cdot 1,06 + 896919,4 \cdot 0,006$$

$$= 59397 \text{ kgm}$$

$$q_{\text{ultimate}} = q_{\text{allow}} \times SF$$

$$= 25339 \times 3 = 76017 \text{ kg/m}^2$$

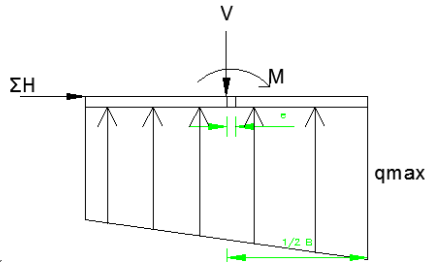
$$\text{Syarat} = \frac{P}{A} \geq \frac{\Sigma My}{I}, \text{ maka } q_{\text{actual}} = \frac{P}{A} + \frac{\Sigma M}{W}$$

$$\frac{896919,4}{434} \geq \frac{59397}{2322,42}$$

$$2066,6 \geq 25,58$$

Maka nilai $q_{\text{actual}} (q_{\text{max}})$:

$$q_{\text{actual}} = \frac{P}{A} + \frac{\Sigma M}{W} = 2066,6 + 25,58 = 2092,18 \text{ kg/m}^2$$



Gambar 5.27 Sketsa Gaya q_{actual}

Kontrol daya dukung

$$\frac{q_{\text{ultimate}}}{q_{\text{actual}}} \geq SF$$

$$\frac{76017}{2092,18} \geq 3$$

$$36,3 \geq 3 \text{ (OKE)}$$

Kontrol daya dukung pondasi lainnya ada pada Tabel 5.23

Tabel 5.23 Kontrol Daya Dukung Pondasi

No	Keterangan	Equipment		
		Gas Metering	Pig Launcher 16"	Pig Launcher 20"
1	q_{allow} (kPa)	52.72	41.58	42.01
2	q_{actual} (kPa)	44.12	26.87	40.50
3	Kontrol	Ok!	Ok!	Ok!

(Sumber: Hasil Analisa)

5.7.5.2 Kontrol Stabilitas Geser

Stabilitas geser akan didapat apabila persyaratan keamanan terpenuhi, yaitu:

$$FS = \frac{\Sigma FR}{\Sigma FD} \geq 2$$

Dimana:

FR = gaya penahan geser

FD = gaya penyebab geser (gaya gempa H)

Gaya penahan geser,

$$FR = c A + \sum V' \tan \phi$$

Dengan :

c = kohesi pada permukaan geser

$$= 0$$

A = luas area permukaan geser

$$= 15,5 \times 28 = 434 \text{ m}^2$$

ϕ = sudut geser tanah

$$= 25^\circ$$

V' = beban vertikal efektif

$$= 356710 \text{ kg}$$

Gaya penyebab geser,

$$FD = H = 50598,57 \text{ kg}$$

Perhitungan faktor keamanan:

$$FS = \frac{0 \times 434 + 356710 \tan 25^\circ}{50958,57} = 3,26 \geq 2 \text{ (oke)}$$

Dari analisa stabilitas geser maka struktur dari pondasi rakit ini aman dari bahaya geser. Untuk kontrol geser pada pondasi lainnya ada pada Tabel 5.24.

Tabel 5.24 Kontrol Stabilitas Geser

No	Keterangan	Equipment		
		Gas Metering	Pig Launcher 16"	Pig Launcher 20"
1	FR	19.58492164	8.719953207	13.42966055
2	FD	5.99	2.67	4.11
3	FD/FR >2	3.27	3.27	3.27
4	Kontrol	Ok!	Ok!	Ok!

(Sumber: Hasil Analisa)

5.7.6 Perhitungan Tulangan

Tulangan Arah x (Arah Melintang)

$$Mu = 867,288 \text{ kNm} = 876.288.000 \text{ Nmm} \quad (\text{SAP2000})$$

$$Lx = 1550 \text{ cm}$$

$$Ly = 2800 \text{ cm}$$

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{2800}{1550} = 1,8 \text{ (pelat dua arah } 1 \leq \frac{l_y}{l_x} \leq 2)$$

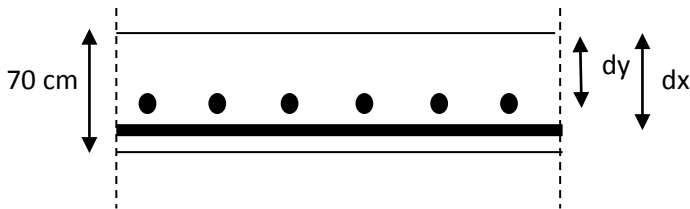
$$\rho_{min} = 0,0018$$

$$\beta_1 = 0,85$$

SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{400} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,0325 = 0,0243$$



Gambar 5.28 Rencana Tulangan Pelat

$$dx = hf - d' - (0,5 \cdot \emptyset) = 700 - 200 - (0,5 \times 32) = 484 \text{ mm}$$

$$dy = hf - d' - \emptyset - (0,5 \cdot \emptyset) = 700 - 200 - 32 - (0,5 \times 32) = 452 \text{ mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,686$$

$$b = 1 \text{ m}$$

Faktor reduksi lentur $\phi = 0,8$ (SNI 03-2847 11.3.2.1)

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\phi b \times d x^2} \\
 &= \frac{867288000}{0,8 \times 1000 \times 484^2} \\
 &= 4,63 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 4,63}{400}} \right) \\
 &= 0,013
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0018 < 0,013 < 0,0243$$

Jadi, dipakai $\rho_{perlu} = 0,013$

$$\begin{aligned}
 A s_{perlu} &= \rho \times b \times d_x \\
 &= 0,013 \times 1000 \times 484 \\
 &= 6292 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan tiap meter} &= \frac{A s_{perlu}}{A s_{(8mm)}} \\
 &= \frac{6292}{804} \\
 &= 7.8 \approx 8 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$S_{max} = 450 \text{ mm (SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5)}$$

Jarak tulangan = $b / (\text{jumlah tulangan}-1) = 1000/(8-1) = 142,85 \approx 145 \text{ mm}$

A_s pasang = jumlah tulangan tiap meter x luas penampang tulangan

$$= 8 \times 804 = 6432 \text{ mm}^2$$

A_s pasang > A_s perlu

Maka, digunakan tulangan lentur **8D32-145 ($A_s = 6232,922 \text{ mm}^2$)**

Tulangan Arah Y

$M_u = 543,079 \text{ kNm} = 543.079.000 \text{ Nmm}$ (SAP2000)

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi b \times d^2} \\ &= \frac{543079000}{0,8 \times 1000 \times 452^2} \\ &= 3,32 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 3,32}{400}} \right) \\ &= 0,009 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0018 < 0,009 < 0,0243$$

Jadi, dipakai $\rho_{perlu} = 0,009$

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d_x$$

$$= 0,009 \times 1000 \times 452$$

$$= 4068 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan tiap meter} = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s(8mm)}}$$

$$= \frac{4068}{804}$$

$$= 5.06 \approx 6 \text{ buah}$$

$$S_{max} = 450 \text{ mm (SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5)}$$

$$\text{Jarak tulangan} = b / (\text{jumlah tulangan}-1) = 1000/(6-1) = 200 \text{ mm}$$

A_s pasang = jumlah tulangan tiap meter x luas penampang tulangan

$$= 6 \times 804 = 4824 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

Maka, digunakan tulangan lentur **6D32-200** ($A_s = 3820,178 \text{ mm}^2$)

Perhitungan penulangan pondasi lainnya tersaji pada Tabel 5.25.

Tabel 5.25 Penulangan Pada Pondasi Lainnya

No	Keterangan	<i>Equipment</i>		
		<i>Area 1</i>	<i>Area 2</i>	
		<i>Gas Metering</i>	<i>Pig Launcher 16"</i>	<i>Pig Launcher 20"</i>
	Arah melintang (x)	6Ø10 – 215	5Ø10 – 210	5Ø10 – 210
1	Mu (Nmm)	5250000.00	2337500.00	3600000.00
2	As (mm ²)	78.50	78.50	78.50
3	n	6.00	5.00	5.00
4	Jarak tulangan (mm)	214.29	208.33	208.33
	ρ_{min}	0.00225	0.00225	0.00225
	Arah memanjang (y)	5Ø10 – 250	4Ø10 – 250	4Ø10 – 250
5	d'	220.50	120.50	170.50
6	Ay (mm ²)	78.50	78.50	78.50
7	n	5.00	4.00	4.00
8	Jarak tulangan (mm)	250.00	250.00	250.00

(sumber: Hasil Analisa)

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dalam perencanaan Tugas Akhir ini didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Dari hasil analisa untuk mencapai elevasi akhir +13.50 m pada area tinjau 1 dibutuhkan $H_{\text{inisaal}} = 8,8$ m untuk daerah non ORF dan $H_{\text{inisaal}} = 9,4$ m untuk daerah ORF dengan $H_{\text{bongkar}} = 0,541$ m sedangkan pada area tinjau 2 dibutuhkan $H_{\text{inisaal}} = 5,85$ m untuk daerah non ORF dan $H_{\text{inisaal}} = 6,5$ m dengan $H_{\text{bongkar}} = 0,541$ m. Beban *surcharge* akan dibongkar setelah pemampatan mencapai 90% ($U=90\%$)
2. Waktu tersingkat yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% ($U=90\%$) adalah 87,98 tahun. Karena waktu pemampatan yang lama maka perlu pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) untuk mempercepat proses konsolidasi.
3. Kedalaman PVD yang dibutuhkan untuk mempercepat proses konsolidasi adalah 9,5 m. Dengan kecepatan penimbunan 60 cm/minggu, untuk mencapai konsolidasi 90% ($U=90\%$) dibutuhkan waktu 20 minggu dengan PVD pola segitiga jarak 1,5 m pada Area 1 dan dibutuhkan waktu 13 minggu dengan PVD 1,2 m pola segitiga pada Area 2.
4. Perkuatan tanah yang dipakai untuk mengatasi kelongsoran adalah geotekstil dan cerucuk. Dengan program bantu XSTABL dan perhitungan yang sesuai, pada Area 1 dibutuhkan 27 lapis /m' geotekstil pada Area 1 atau 31 buah /m' cerucuk atau dengan perkuatan kombinasi 14 lapis /m' geotekstil dan 12 buah / m' cerucuk. Sedangkan pada Area 2 dibutuhkan 9 lapis geotekstil/m' atau 12 buah/m' cerucuk

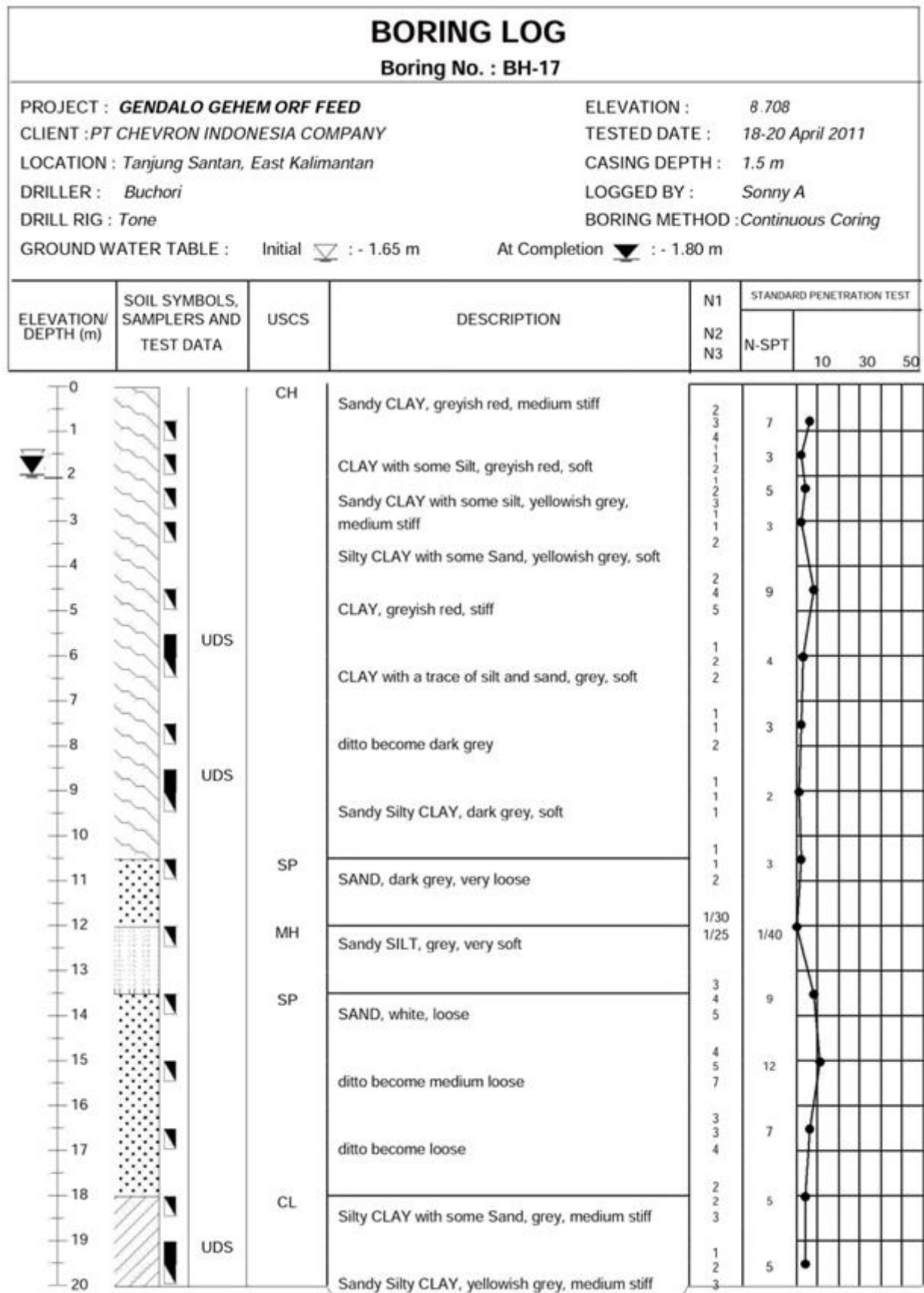
atau dengan perkuatan kombinasi 5 lapis geotekstil/m' atau 4 buah cerucuk.

5. Kemiringan tepi timbunan yang dibutuhkan agar stabil tanpa perkuatan adalah dengan *slope* 1:4 pada Area 1 dan *slope* 1:3 pada Area 2.
6. Dari hasil perhitungan, perkuatan tanah yang terpilih adalah perkuatan tanah dengan geotekstil dengan biaya paling ekonomis yaitu Rp 10.150.465.976,00. Alternatif ke 2 adalah perkuatan tanah kombinasi geotekstil dan cerucuk dengan biaya Rp. 21.324.467.056,00. Sedangkan perkuatan tanah dengan cerucuk adalah perkuatan dengan biaya tertinggi yakni Rp. 40.320.572.800,00.
7. Perencanaan pondasi pada area 1 *metering gas* dibutuhkan pondasi telapak sebanyak 6 buah dengan dimensi 1,5 m x 1,5 m x 0,3 m, pada area 1 *Knockout Drum, Closed Drain Drum* dan *Flare* dibutuhkan pondasi rakit dengan dimensi 15,5 m x 28 m x 0,7 m. Sedangkan pada area 2 *Pig Launcher 16"* dan *Pig Launcher 20* masing-masing membutuhkan pondasi telapak sebanyak 2 buah dengan dimensi 1,25 m x 1,25 m x 0,3 m.

6.2 Saran

1. Untuk perencanaan perbaikan tanah dan perkuatan timbunan pada daerah proyek, sebaiknya data tanah yang diambil lebih banyak lagi. Tidak hanya pada 2 titik saja.

Lampiran 1 : Data Tanah dan Spesifikasi Bahan



BORING LOG

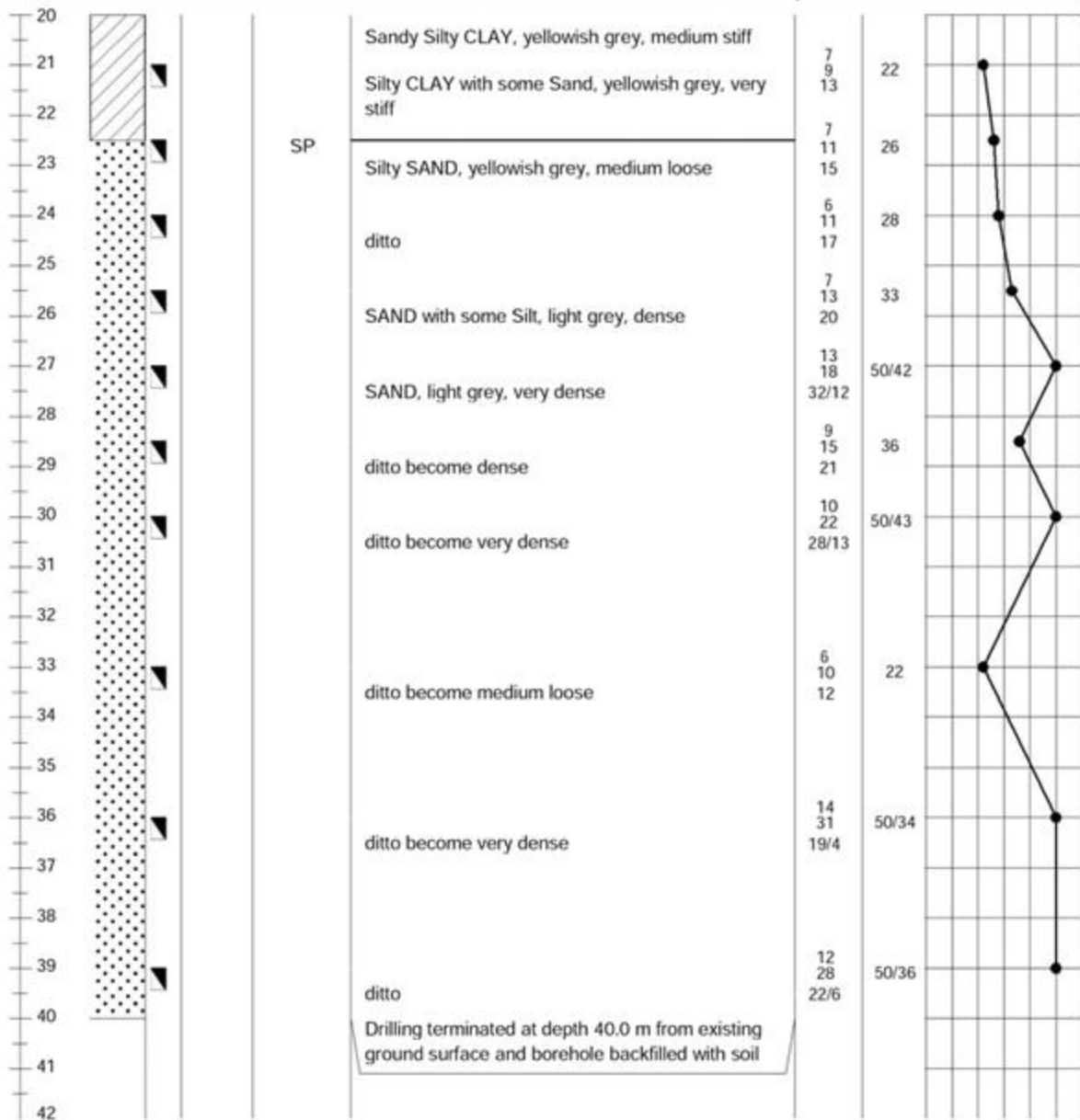
Boring No. : BH-17

PROJECT : **GENDALO GEHEM ORF FEED**
 CLIENT : **PT CHEVRON INDONESIA COMPANY**
 LOCATION : *Tanjung Santan, East Kalimantan*
 DRILLER : *Buchori*
 DRILL RIG : *Tone*
 GROUND WATER TABLE : Initial  : - 1.65 m

ELEVATION : 8.708
 TESTED DATE : 18-20 April 2011
 CASING DEPTH : 1.5 m
 LOGGED BY : *Sonny A*
 BORING METHOD : *Continuous Coring*

At Completion  : - 1.80 m

ELEVATION/ DEPTH (m)	SOIL SYMBOLS, SAMPLERS AND TEST DATA	USCS	DESCRIPTION	N1 N2 N3	STANDARD PENETRATION TEST		
					N-SPT	10	30



BORING LOG

Boring No. : BH-18

PROJECT : **GENDALO GEHEM ORF FEED**
 CLIENT : **PT CHEVRON INDONESIA COMPANY**
 LOCATION : *Tanjung Santan, East Kalimantan*
 DRILLER : *Djais*
 DRILL RIG : *Tone*
 GROUND WATER TABLE : Initial  : - 2.30 m

ELEVATION : 9.8019
 TESTED DATE : 18-21 April 2011
 CASING DEPTH : 1.5 m
 LOGGED BY : *Sonny A*
 BORING METHOD : *Continuous Coring*



ELEVATION/ DEPTH (m)	SOIL SYMBOLS, SAMPLERS AND TEST DATA	USCS	DESCRIPTION	N1 N2 N3	STANDARD PENETRATION TEST			
					N-SPT	10	30	50
0		MH	Clayey SILT with some sand and a trace of gravel, white, stiff	3	12			
1		CH	Sandy CLAY, brown, very soft	6	1			
2			ditto become medium stiff	1	5			
3			ditto become very soft	2	2			
4				1				
5		MH	Sandy SILT, light grey, very soft	1	2			
6	UDS	SP	SAND with a trace of silt, clay and gravel, dark grey, very soft	1	1			
7				3				
8	UDS		SAND, white, very loose	2/30	2			
9		CH	CLAY, light grey, medium stiff	2	6			
10				2				
11			ditto become soft	2	4			
12			ditto become very stiff	3	18			
13				8				
14		MH	Sandy SILT, white, very soft	10	1			
15			ditto	1	1			
16	UDS							
17		CL	Silty CLAY with a trace of sand, yellowish grey, stiff	3	15			
18		ML	Sandy SILT, light grey, very stiff	6	20			
19				9				
20			ditto become yellowish grey	11	22			
				6				
				10				
				12				

BORING LOG

Boring No. : BH-18

PROJECT : **GENDALO GEHEM ORF FEED**
 CLIENT : PT CHEVRON INDONESIA COMPANY
 LOCATION : Tanjung Santan, East Kalimantan
 DRILLER : Djais
 DRILL RIG : Tone

ELEVATION : 9.8019
 TESTED DATE : 18-21 April 2011
 CASING DEPTH : 1.5 m
 LOGGED BY : Sonny A
 BORING METHOD : Continuous Coring

GROUND WATER TABLE : Initial  : - 2.30 m At Completion  : - 2.80 m

ELEVATION/ DEPTH (m)	SOIL SYMBOLS, SAMPLERS AND TEST DATA	USCS	DESCRIPTION	N1 N2 N3	STANDARD PENETRATION TEST			
					N-SPT	10	30	50
20			ditto become yellowish grey					
21	■		ditto	5 9 13	22			
22								
23	■		ditto become light grey	7 10 13	23			
24	■		ditto	8 12 14	26			
25								
26	■		ditto	9 12 14	26			
27	■							
28			ditto become hard	7 16 23	39			
29	■		ditto become grey, very stiff	6 9 10	19			
30	■		ditto become very stiff	9 12 16	28			
31								
32	■		ditto	5 9 14	23			
33	■		ditto	7 9 10	19			
34								
35								
36	■		Cemented SILT, greenish grey, hard	50/15	50/15			
37								
38								
39	■		ditto	50/15	50/15			
40	■		Cemented Clayey SILT, dark grey, hard	15 30 20/5	50/35			
41			Drilling terminated at depth 40.5 m from existing ground surface and borehole backfilled with soil					
42								

DATA LAB

SUMMARY OF SOIL LABORATORY TEST																									
Client		: PT. Chevron Indonesia Company																							
Project		: Gendalo Gehem ORF FEED																							
Location		: Tanjung Santan, East Kalimantan																							
BORING NUMBER AND SAMPLE NUMBER	SAMPLE DEPTH	SOIL DESCRIPTION	Natural Water Content	Wet Density	Dry Density	Specific Gravity	Void Ratio	Porosity	Degree of Saturation	ATTERBERG LIMITS				GRAIN SIZE DISTRIBUTION (% by weight)				Unconfined Compr. Test	TRIAXIAL TEST (U.U)			CONSOLIDATION TEST			
			W _n	γ _s	γ _d	G _s	e	n	S _r	LL	PL	PI	Class	Gravel	Sand	Silt	Clay		Su	c	Ø	P _c	C _c	C _s	Cr
			%	kN/m ³		-			%	%			USCS	%					kPa	kPa	degree	kPa	-	-	-
BH-17																									
SPT1	2.25	Sandy CLAY with some silt	21.78	N/A	N/A	2.679	N/A	N/A	N/A	59.87	23.40	36.47	CH	0.07	15.67	29.96	54.29	-	-	-	-	-	-	-	
UDS1	5.50 - 6.00	CLAY with a trace of silt and sand	39.60	17.65	12.64	2.640	1.088	0.521	96.07	81.27	27.80	53.46	CH	0.00	2.50	2.05	95.46	44.4	-	-	200.9	0.556	0.033	0.017	
UDS2	8.50 - 9.00	Sandy Silty CLAY	41.53	17.11	12.09	2.572	1.127	0.530	94.75	43.99	22.61	21.37	CL	0.00	42.45	30.84	26.71	-	16.9	3.3	-	-	-	-	
UDS3	19.00 - 19.50	Sandy Silty CLAY	40.41	17.11	12.19	2.683	1.201	0.546	90.23	44.54	21.17	23.38	CL	0.00	28.58	37.83	33.59	-	-	-	166.4	0.257	0.033	0.026	
BH-18																									
SPT1	0.75	Clayey SILT with some sand and a trace of gravel	41.30	N/A	N/A	2.661	N/A	N/A	N/A	52.32	28.90	23.42	MH	0.15	8.79	38.60	52.47	-	-	-	-	-	-	-	
UDS1	5.50 - 6.00	SAND with a trace of silt, clay and gravel	21.29	19.06	15.71	2.653	0.688	0.408	82.08	NP	NP	N/A	SM	0.54	78.82	11.06	9.58	-	-	-	-	-	-	-	
UDS2	8.50 - 9.00	SAND with a trace of silt and clay	17.71	20.10	17.08	2.966	0.737	0.424	71.30	NP	NP	N/A	SM	0.00	83.73	9.05	7.22	-	-	-	-	-	-	-	
UDS3	16.00 - 16.50	Silty CLAY with a trace of sand	56.77	17.03	10.86	2.699	1.484	0.597	100	76.24	29.28	46.96	CH	0.00	0.42	36.99	62.60	-	-	-	132.5	0.397	0.026	0.013	
BH-19																									
SPT1	1.50	Silty CLAY with some sand	28.15	N/A	N/A	2.722	N/A	N/A	N/A	67.36	25.50	41.86	CH	0.00	8.56	36.82	54.62	-	-	-	-	-	-	-	
UDS1	4.00 - 4.50	Silty CLAY with some sand	56.09	14.81	9.49	2.700	1.845	0.649	82.06	72.68	29.05	43.63	CH	0.00	0.12	42.38	57.50	58.4	52.3	2.3	245.2	0.710	0.076	0.100	
UDS2	7.00 - 7.50	Sandy Silty CLAY	38.57	15.90	11.47	2.645	1.305	0.566	78.16	44.71	23.79	20.91	CL	0.00	36.74	40.38	22.88	-	38.4	2.4	-	-	-	-	
UDS3	23.50 - 24.00	Sandy CLAY with some silt	37.72	16.96	12.31	2.709	1.200	0.545	85.16	25.30	10.15	15.15	CL	0.00	62.71	23.04	14.25	-	-	-	105.8	0.231	0.018	0.015	
UDS4	32.50 - 33.00	Sandy CLAY with some silt and a trace of gravel	52.48	18.53	12.15	2.721	1.239	0.553	100	30.72	16.54	14.19	CL	0.42	71.59	16.41	11.58	-	-	-	115.8	0.120	0.016	0.014	
BH-20																									
SPT1	2.25	Silty CLAY with some sand	38.05	N/A	N/A	2.712	N/A	N/A	N/A	60.34	27.63	32.71	CH	0.00	19.06	35.78	45.17	-	-	-	-	-	-	-	
UDS1	5.50 - 6.00	Sandy CLAY with some silt and a trace of gravel	46.31	16.42	11.22	2.613	1.328	0.571	91.10	27.76	11.75	16.02	CL	1.43	58.87	15.87	13.83	43.3	-	-	-	-	-	-	
UDS2	11.50 - 12.00	Silty CLAY with a trace of sand	39.01	18.27	13.14	2.650	1.017	0.504	100	67.85	23.41	44.45	CH	0.00	3.12	39.97	56.91	-	104.9	2.7	147.4	0.374	0.024	0.013	
UDS3	16.00 - 16.50	Silty CLAY with a trace of sand	30.51	18.46	14.14	2.666	0.884	0.469	91.94	54.11	26.52	27.59	CH	0.00	1.33	41.87	56.80	-	-	-	113.0	0.174	0.025	0.023	
							</																		

HUESKER STABILENKA® DATA SHEET

HIGH STRENGTH WOVEN GEOTEXTILE FOR SOIL REINFORCEMENT

PRODUCT			100/50	120/120	150/45	200/45	300/45	400/50	600/50	800/50	1000/100
MECHANICAL	TEST	UNIT									
Ultimate tensile strength Longitudinal Transverse	EN ISO 10.319	kN/m	≥ 100 ≥ 50	≥ 120 ≥ 120	≥ 150 ≥ 45	≥ 200 ≥ 45	≥ 300 ≥ 45	≥ 400 ≥ 50	≥ 600 ≥ 50	≥ 800 ≥ 50	≥ 1000 ≥ 100
Tensile strength @ 6% strain : Longitudinal	EN ISO 10.319	kN/m	≥ 60	---	≥ 85	≥ 120	≥ 180	≥ 230	≥ 320	≥ 460	≥ 600
Strain @ nominal tensile strength : longitudinal Transverse	EN ISO 10.319	%	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20
Creep after two years @ 50% stress ratio		%	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HYDRAULIC											
Permeability index normal to plane Tolerance		m/s	15x10 ⁻³ -3x10 ⁻³	7x10 ⁻³ -1x10 ⁻³	5x10 ⁻³ -2x10 ⁻³	5x10 ⁻³ -2x10 ⁻³	3x10 ⁻³ -1x10 ⁻³	3x10 ⁻³ -1x10 ⁻³	5x10 ⁻³ -2x10 ⁻³	4x10 ⁻³ -1x10 ⁻³	3x10 ⁻³ -1x10 ⁻³
PHYSICAL											
Weight	EN ISO 9864	g / m ²	~230	~400	~330	~390	~520	~605	~1010	~1360	~1800
PACKAGING											
Roll width x length	NA	m	5x300	5x300	5x300	5x300	5x300	5x200	5x200	5x100	5x100
Stabilenka® Datasheet, 03/2007 Rev. I											

Notes

- 1) Woven with a polyester yarn in the length direction (warp) and with polyamide or polyester yarns in the cross direction (weft), the use of high-modulus polyester multifilament yarn and a special patented weaving process (straight warp and no crimp) ensures that Stabilenka® mobilises high tensile forces at low elongations.
- 2) Stabilenka® high strength woven geotextiles resistant to naturally occurring soils having pH > 2 and < 10.
- 3) The information listed in this data sheet is subject to periodic review and could be changed without notice.
- 4) Stabilenka® high strength woven geotextiles are manufactured according to ISO 9001 quality assurance procedures.

TYPICAL APPLICATIONS

- Reinforcement of embankments constructed on soft ground
- Stabilisation in river maintenance schemes, breakwater and jetty construction
- Reinforced earth structures
- Spanning sinkhole areas

PROPERTIES

- High tensile forces at low elongation
- Low creep
- High resistance to micro-organisms, chemical and mechanical damage

The information contained herein is furnished without charge or obligation.

No responsibility is accepted for any change in product properties due to environmental influences and or improper application or handling.



HUESKER

Engineering with Geosynthetics












DAR-PL-3226.00
Akreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17022

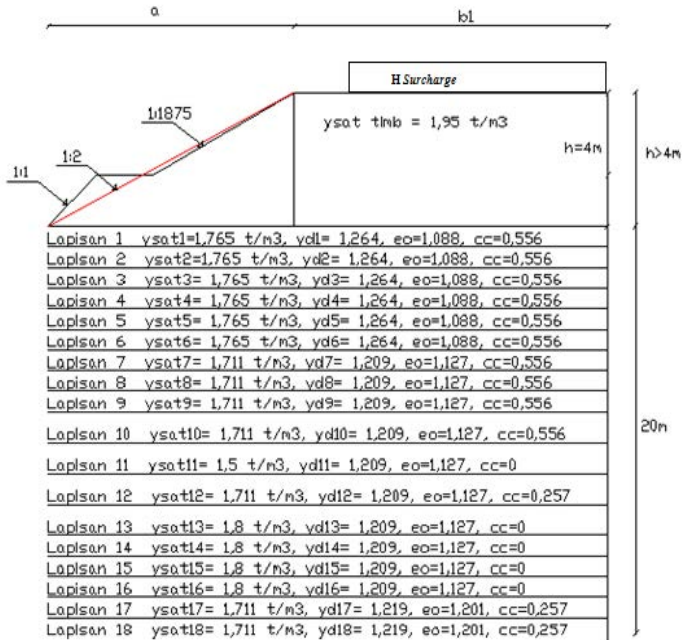
DAFTAR HARGA MINI PILE

No	Type	Gbr	Mutu Beton	Tulangan besi ϕ	Sengkang besi ϕ	Dimensi		Berat Beton kg/m ³	P (beban) Vertikal (ton)	Transportasi	Harga				Jasa pemancangan n = 350 m ³
						Sisi (cm)	Panjang (m)				Min 35 m ³	per 1 m ³	per 2 m ³	per 3 m ³	per 6 m ³
I	Segi Tiga		K - 450	13	6	30	6	216 Kg	32	Rp 40.500 /M	Rp 133.689	Rp 267.377	Rp 401.066	Rp 802.132	Rp 28.286
			K - 450	16	8	30	6	216 Kg	34	Rp 40.500 /M	Rp 155.268	Rp 310.536	Rp 465.804	Rp 931.607	Rp 28.286
			K - 450	19	8	30	6	216 Kg	36	Rp 40.500 /M	Rp 172.918	Rp 345.836	Rp 518.754	Rp 1.037.508	Rp 28.286
No	Type	Gbr	Mutu Beton	Tulangan besi ϕ	Sengkang besi ϕ	Dimensi		Berat Beton kg/m ³	P (beban) Vertikal (ton)	Transportasi	Harga				Jasa pemancangan n = 350 m ³
						Sisi (cm)	Panjang (m)				Min 31 m ³	per 1 m ³	per 2 m ³	per 3 m ³	per 6 m ³
I	Segi Tiga		K - 450	13	6	32	6	246 Kg	35	Rp 46.080 /M	Rp 146.988	Rp 293.976	Rp 440.963	Rp 881.927	Rp 28.286
			K - 450	16	8	32	6	246 Kg	38	Rp 46.080 /M	Rp 168.748	Rp 337.495	Rp 506.243	Rp 1.012.486	Rp 28.286
			K - 450	19	8	32	6	246 Kg	40	Rp 46.080 /M	Rp 186.398	Rp 372.795	Rp 559.193	Rp 1.118.386	Rp 28.286
No	Type	Gbr	Mutu Beton	Tulangan besi ϕ	Sengkang besi ϕ	Dimensi		Berat Beton kg/m ³	P (beban) Vertikal (ton)	Transportasi	Harga				Jasa pemancangan n = 350 m ³
						Sisi (cm)	Panjang (m)				min 128 m ³	per 1 m ³	per 2 m ³	per 3 m ³	per 6 m ³
I	Segi Empat		K - 450	10	6	16	6	61.4 Kg	21	Rp 11.520 /M	Rp 99.429	Rp 198.859	Rp 298.288	Rp 596.576	Rp 28.285.71
			K - 450	12	6	16	6	61.4 Kg	23	Rp 11.520 /M	Rp 109.291	Rp 218.582	Rp 327.873	Rp 655.746	Rp 30.000.00
			K - 450	13	6	16	6	61.4 Kg	23	Rp 11.520 /M	Rp 114.894	Rp 229.788	Rp 344.683	Rp 689.365	Rp 30.000.00
No	Type	Gbr	Mutu Beton	Tulangan besi ϕ	Sengkang besi ϕ	Dimensi		Berat Beton kg/m ³	P (beban) Vertikal (ton)	Transportasi	Harga				Jasa pemancangan n = 350 m ³
						Sisi (cm)	Panjang (m)				min 101 m ³	per 1 m ³	per 2 m ³	per 3 m ³	per 6 m ³
I	Segi Empat		K - 450	10	6	18	6	77.8 Kg	26	Rp 14.580 /M	Rp 116.363	Rp 232.726	Rp 349.089	Rp 698.178	Rp 28.285.71
			K - 450	12	6	18	6	77.8 Kg	27	Rp 14.580 /M	Rp 126.225	Rp 252.449	Rp 378.674	Rp 757.348	Rp 30.000.00
			K - 450	13	6	18	6	77.8 Kg	28	Rp 14.580 /M	Rp 131.828	Rp 263.656	Rp 395.483	Rp 790.967	Rp 30.000.00
No	Type	Gbr	Mutu Beton	Tulangan besi ϕ	Sengkang besi ϕ	Dimensi		Berat Beton kg/m ³	P (beban) Vertikal (ton)	Transportasi	Harga				Jasa pemancangan n = 350 m ³
						Sisi (cm)	Panjang (m)				min 81 m ³	per 1 m ³	per 2 m ³	per 3 m ³	per 6 m ³
I	Segi Empat		K - 450	12	6	20	6	96.0 Kg	33	Rp 18.000 /M	Rp 145.050	Rp 290.100	Rp 435.149	Rp 870.299	Rp 28.285.71
			K - 450	13	6	20	6	96.0 Kg	34	Rp 18.000 /M	Rp 150.653	Rp 301.306	Rp 451.959	Rp 903.918	Rp 30.000.00
			K - 450	16	8	20	6	96.0 Kg	36	Rp 18.000 /M	Rp 184.655	Rp 369.310	Rp 553.966	Rp 1.107.931	Rp 30.000.00

Harga belum termasuk Ppn 10%
Segala biaya kuli turun material/preman sepenuhnya ditanggung pembeli.
Harga diatas franco jabotabek.

Nata Beton
Contact Person : Wahyu Widodo.ST
Phone : 021-56972334 , 021-68715253
Fax : 56972334

Lampiran 2 : Gambar Penampang Tanah



Lampiran 3 : Perhitungan akibat variasi beban

Tegangan Overburden

Lapis	Kedalaman (m)		σ'_o (t/m ²)
1	0	1	0.3825
2	1	2	1.1475
3	2	3	1.9125
4	3	4	2.6775
5	4	5	3.4425
6	5	6	4.2075
7	6	7	4.9455
8	7	8	5.6565
9	8	9	6.3675
10	9	10.5	7.25625
11	10.5	12	8.1645
12	12	13.5	9.07275
13	13.5	15	10.206
14	15	16	11.206
15	16	17	12.006
16	17	18	12.806
17	18	19	13.5615
18	19	20	14.2725

Mencari SC dengan $Q = 3,7 \text{ t/m} + \text{Surcharge} = 1 \text{ t/m}$

Kedalaman (m)	z1 (m)	a1 (m)	b1 (m)	a1/z1	b1/z1	I1	I2	Δσ1 (t/m2)	B (m)	L (m)	z2 (m)	m B/z2	n L/z2	I	Δσ2	Δσ' (t/m2)	
0	1	0.5	4	50.00	7.998162	100	0.5	0.5	3.70	55	47.5	2.500	22.00404	19.00349	0.25	1	4.70
1	2	1.5	4	50.00	2.666054	33.33333	0.5	0.5	3.70	55	47.5	3.500	15.71635	13.57321	0.25	1	4.70
2	3	2.5	4	50.00	1.599632	20	0.5	0.5	3.70	55	47.5	4.500	12.22347	10.55663	0.25	1	4.70
3	4	3.5	4	50.00	1.142595	14.28571	0.5	0.5	3.70	55	47.5	5.500	10.00084	8.637085	0.25	1	4.70
4	5	4.5	4	50.00	0.888685	11.11111	0.5	0.5	3.70	55	47.5	6.500	8.462137	7.308209	0.25	1	4.70
5	6	5.5	4	50.00	0.727106	9.090909	0.5	0.5	3.70	55	47.5	7.500	7.333783	6.333721	0.25	1	4.70
6	7	6.5	4	50.00	0.615243	7.692308	0.5	0.5	3.70	55	47.5	8.500	6.470938	5.588537	0.25	1	4.70
7	8	7.5	4	50.00	0.533211	6.666667	0.5	0.5	3.70	55	47.5	9.500	5.789754	5.000242	0.25	1	4.70
8	9	8.5	4	50.00	0.47048	5.882353	0.5	0.5	3.70	55	47.5	10.500	5.238324	4.524007	0.25	1	4.70
9	10.5	9.75	4	50.00	0.410162	5.128205	0.5	0.5	3.70	55	47.5	11.750	4.681034	4.042711	0.25	1	4.70
10.5	12	11.25	4	50.00	0.355474	4.444444	0.5	0.5	3.70	55	47.5	13.250	4.151087	3.58503	0.25	1	4.70
12	13.5	12.75	4	50.00	0.313653	3.921569	0.5	0.5	3.70	55	47.5	14.750	3.72893	3.220439	0.25	1	4.70
13.5	15	14.25	4	50.00	0.280637	3.508772	0.5	0.5	3.70	55	47.5	16.250	3.384711	2.92316	0.25	1	4.70
15	16	15.5	4	50.00	0.258005	3.225806	0.5	0.5	3.70	55	47.5	17.500	3.14294	2.714357	0.249	0.996	4.70
16	17	16.5	4	50.00	0.242369	3.030303	0.493	0.5	3.67	55	47.5	18.500	2.973047	2.567631	0.248	0.992	4.67
17	18	17.5	4	50.00	0.228519	2.857143	0.49	0.5	3.66	55	47.5	19.500	2.820579	2.435955	0.247	0.988	4.65
18	19	18.5	4	50.00	0.216167	2.702703	0.489	0.5	3.66	55	47.5	20.500	2.682987	2.317125	0.246	0.984	4.64
19	20	19.5	4	50.00	0.205081	2.564103	0.488	0.5	3.66	55	47.5	21.500	2.558194	2.20935	0.245	0.98	4.64

Hi (m)	Cc	Cs	eo	σ'o (t/m2)	Δσ' (t/m2)	Δσ' + σ'o (t/m2)	Pfluktuasi (t/m2)	σ'c (t/m2)	OCR	OCR	rumus SC	SC (m)
1	0.556	0.1112	1.088	0.3825	4.700	5.083	1.5	1.8825	0.370389	NC	RUMUS 1	0.299
1	0.556	0.1112	1.088	1.1475	4.700	5.848	1.5	2.6475	0.452758	NC	RUMUS 1	0.188
1	0.556	0.1112	1.088	1.9125	4.700	6.613	1.5	3.4125	0.516068	NC	RUMUS 1	0.143
1	0.556	0.1112	1.088	2.6775	4.700	7.378	1.5	4.1775	0.566249	NC	RUMUS 1	0.117
1	0.556	0.1112	1.088	3.4425	4.700	8.143	1.5	4.9425	0.607	NC	RUMUS 1	0.100
1	0.556	0.1112	1.088	4.2075	4.700	8.908	1.5	5.7075	0.640752	NC	RUMUS 1	0.087
1	0.556	0.1112	1.127	4.9455	4.700	9.646	1.5	6.4455	0.668239	NC	RUMUS 1	0.076
1	0.556	0.1112	1.127	5.6565	4.700	10.357	1.5	7.1565	0.691015	NC	RUMUS 1	0.069
1	0.556	0.1112	1.127	6.3675	4.700	11.068	1.5	7.8675	0.710865	NC	RUMUS 1	0.063
1.5	0.556	0.1112	1.201	7.25625	4.700	11.956	1.5	8.75625	0.732358	NC	RUMUS 1	0.082
1.5	0	0	1.201	8.1645	4.700	12.865	1.5	9.6645	0.751253	NC	RUMUS 1	0.000
1.5	0.257	0.0514	1.201	9.07275	4.700	13.773	1.5	10.57275	0.767657	NC	RUMUS 1	0.032
1.5	0	0	1.201	10.206	4.700	14.906	1.5	11.706	0.785321	NC	RUMUS 1	0.000
1	0	0	1.201	11.206	4.696	15.902	1.5	12.706	0.799019	NC	RUMUS 1	0.000
1	0	0	1.201	12.006	4.666	16.672	1.5	13.506	0.810096	NC	RUMUS 1	0.000
1	0	0	1.201	12.806	4.651	17.457	1.5	14.306	0.819499	NC	RUMUS 1	0.000
1	0.257	0.0514	1.201	13.5615	4.643	18.205	1.5	15.0615	0.827337	NC	RUMUS 1	0.015
1	0.257	0.0514	1.201	14.2725	4.636	18.908	1.5	15.7725	0.834166	NC	RUMUS 1	0.014

Sctot=1.285

Mencari SC dengan Q = 7,4 t/m + Surchage 1 t/m

Kedalaman	z	a1	b1	a1/z	b1/z	I1	I2	Δσ1	B	L	z2	m	n	l	Δσ2	Δσ'	
(m)	(m)	(m)	(m)					(t/m2)	(m)	(m)	(m)	B/z2	L/z2			(t/m2)	
0	1	0.5	8	50.00	15.99816	100	0.5	0.5	7.40	55	47.5	4.500	12.22347	10.55663	0.25	1	8.40
1	2	1.5	8	50.00	5.332721	33.33333	0.5	0.5	7.40	55	47.5	5.500	10.00084	8.637085	0.25	1	8.40
2	3	2.5	8	50.00	3.199632	20	0.5	0.5	7.40	55	47.5	6.500	8.462137	7.308209	0.25	1	8.40
3	4	3.5	8	50.00	2.285452	14.28571	0.5	0.5	7.40	55	47.5	7.500	7.333783	6.333721	0.25	1	8.40
4	5	4.5	8	50.00	1.777574	11.11111	0.5	0.5	7.40	55	47.5	8.500	6.470938	5.588537	0.25	1	8.40
5	6	5.5	8	50.00	1.454378	9.090909	0.5	0.5	7.40	55	47.5	9.500	5.789754	5.000242	0.25	1	8.40
6	7	6.5	8	50.00	1.230628	7.692308	0.5	0.5	7.40	55	47.5	10.500	5.238324	4.524007	0.25	1	8.40
7	8	7.5	8	50.00	1.066544	6.666667	0.5	0.5	7.40	55	47.5	11.500	4.7828	4.1306	0.25	1	8.40
8	9	8.5	8	50.00	0.941068	5.882353	0.5	0.5	7.40	55	47.5	12.500	4.400162	3.80014	0.25	1	8.40
9	10.5	9.75	8	50.00	0.820419	5.128205	0.5	0.5	7.40	55	47.5	13.750	4.000134	3.454661	0.25	1	8.40
10.5	12	11.25	8	50.00	0.711029	4.444444	0.5	0.5	7.40	55	47.5	15.250	3.606666	3.114848	0.25	1	8.40
12	13.5	12.75	8	50.00	0.627379	3.921569	0.5	0.5	7.40	55	47.5	16.750	3.283672	2.835899	0.249	0.996	8.40
13.5	15	14.25	8	50.00	0.561339	3.508772	0.5	0.5	7.40	55	47.5	18.250	3.013775	2.602805	0.248	0.992	8.39
15	16	15.5	8	50.00	0.51607	3.225806	0.5	0.5	7.40	55	47.5	19.500	2.820579	2.435955	0.247	0.988	8.39
16	17	16.5	8	50.00	0.484793	3.030303	0.495	0.5	7.36	55	47.5	20.500	2.682987	2.317125	0.246	0.984	8.35
17	18	17.5	8	50.00	0.45709	2.857143	0.491	0.5	7.33	55	47.5	21.500	2.558194	2.20935	0.245	0.98	8.31
18	19	18.5	8	50.00	0.432383	2.702703	0.489	0.5	7.32	55	47.5	22.500	2.444494	2.111154	0.244	0.976	8.29
19	20	19.5	8	50.00	0.410209	2.564103	0.488	0.5	7.31	55	47.5	23.500	2.340471	2.021316	0.243	0.972	8.28

Hi	Cc	Cs	eo	σ'o	Δσ'	Δσ' + σ'o	Pfluktiasi	σ'c	OCR	OCR	rumus	SC	
(m)				(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)			SC	(m)	
1		0.556	0.1112	1.088	0.3825	8.400	8.783	1.5	1.8825	0.214347	NC	RUMUS 1	0.362
1		0.556	0.1112	1.088	1.1475	8.400	9.548	1.5	2.6475	0.277298	NC	RUMUS 1	0.245
1		0.556	0.1112	1.088	1.9125	8.400	10.313	1.5	3.4125	0.330909	NC	RUMUS 1	0.195
1		0.556	0.1112	1.088	2.6775	8.400	11.078	1.5	4.1775	0.377116	NC	RUMUS 1	0.164
1		0.556	0.1112	1.088	3.4425	8.400	11.843	1.5	4.9425	0.417353	NC	RUMUS 1	0.143
1		0.556	0.1112	1.088	4.2075	8.400	12.608	1.5	5.7075	0.452707	NC	RUMUS 1	0.127
1		0.556	0.1112	1.127	4.9455	8.400	13.346	1.5	6.4455	0.482972	NC	RUMUS 1	0.113
1		0.556	0.1112	1.127	5.6565	8.400	14.057	1.5	7.1565	0.509124	NC	RUMUS 1	0.103
1		0.556	0.1112	1.127	6.3675	8.400	14.768	1.5	7.8675	0.532758	NC	RUMUS 1	0.095
1.5		0.556	0.1112	1.201	7.25625	8.400	15.656	1.5	8.75625	0.559281	NC	RUMUS 1	0.127
1.5		0	0	1.201	8.1645	8.400	16.565	1.5	9.6645	0.583447	NC	RUMUS 1	0.000
1.5		0.257	0.0514	1.201	9.07275	8.396	17.469	1.5	10.57275	0.605238	NC	RUMUS 1	0.050
1.5		0	0	1.201	10.206	8.392	18.598	1.5	11.706	0.629423	NC	RUMUS 1	0.000
1		0	0	1.201	11.206	8.388	19.594	1.5	12.706	0.648464	NC	RUMUS 1	0.000
1		0	0	1.201	12.006	8.347	20.353	1.5	13.506	0.663588	NC	RUMUS 1	0.000
1		0	0	1.201	12.806	8.313	21.119	1.5	14.306	0.677387	NC	RUMUS 1	0.000
1		0.257	0.0514	1.201	13.5615	8.295	21.856	1.5	15.0615	0.689121	NC	RUMUS 1	0.024
1		0.257	0.0514	1.201	14.2725	8.283	22.556	1.5	15.7725	0.699269	NC	RUMUS 1	0.023

Scot=

1.772

Mencari SC dengan Q = 11,1 t/m + Surchage 1 t/m

Kedalaman	z	a1	b1	a1/z	b1/z	I1	I2	Δσ1	B	L	z2	m	n	l	Δσ2	Δσ'	
(m)	(m)	(m)	(m)					(t/m2)	(m)	(m)	(m)	B/z2	L/z2			(t/m2)	
0	1	0.5	12	50.00	23.99816	100	0.5	0.5	11.10	55	47.5	6.500	8.462137	7.308209	0.25	1	12.10
1	2	1.5	12	50.00	7.999387	33.33333	0.5	0.5	11.10	55	47.5	7.500	7.333783	6.333721	0.25	1	12.10
2	3	2.5	12	50.00	4.799632	20	0.5	0.5	11.10	55	47.5	8.500	6.470938	5.588537	0.25	1	12.10
3	4	3.5	12	50.00	3.428309	14.28571	0.5	0.5	11.10	55	47.5	9.500	5.789754	5.000242	0.25	1	12.10
4	5	4.5	12	50.00	2.666462	11.11111	0.5	0.5	11.10	55	47.5	10.500	5.238324	4.524007	0.25	1	12.10
5	6	5.5	12	50.00	2.181651	9.090909	0.5	0.5	11.10	55	47.5	11.500	4.7828	4.1306	0.25	1	12.10
6	7	6.5	12	50.00	1.846012	7.692308	0.5	0.5	11.10	55	47.5	12.500	4.400162	3.80014	0.25	1	12.10
7	8	7.5	12	50.00	1.599877	6.666667	0.5	0.5	11.10	55	47.5	13.500	4.074213	3.518638	0.25	1	12.10
8	9	8.5	12	50.00	1.411657	5.882353	0.5	0.5	11.10	55	47.5	14.500	3.793224	3.275966	0.25	1	12.10
9	10.5	9.75	12	50.00	1.230675	5.128205	0.5	0.5	11.10	55	47.5	15.750	3.492165	3.015961	0.25	1	12.10
10.5	12	11.25	12	50.00	1.066585	4.444444	0.5	0.5	11.10	55	47.5	17.250	3.188491	2.753697	0.249	0.996	12.10
12	13.5	12.75	12	50.00	0.941104	3.921569	0.5	0.5	11.10	55	47.5	18.750	2.933405	2.533395	0.248	0.992	12.09
13.5	15	14.25	12	50.00	0.842041	3.508772	0.5	0.5	11.10	55	47.5	20.250	2.716111	2.345732	0.247	0.988	12.09
15	16	15.5	12	50.00	0.774134	3.225806	0.5	0.5	11.10	55	47.5	21.500	2.558194	2.20935	0.246	0.984	12.08
16	17	16.5	12	50.00	0.727217	3.030303	0.496	0.5	11.06	55	47.5	22.500	2.444494	2.111154	0.245	0.98	12.04
17	18	17.5	12	50.00	0.685662	2.857143	0.494	0.5	11.03	55	47.5	23.500	2.340471	2.021316	0.244	0.976	12.01
18	19	18.5	12	50.00	0.648599	2.702703	0.492	0.5	11.01	55	47.5	24.500	2.24494	1.938812	0.243	0.972	11.98
19	20	19.5	12	50.00	0.615337	2.564103	0.49	0.5	10.99	55	47.5	25.500	2.156902	1.862779	0.242	0.968	11.96

Hi	Cc	Cs	eo	σ'o	Δσ'	Δσ' + σ'o	Pfluktiasi	σ'c	OCR	OCR	rumus	SC
(m)				(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)			SC	(m)
1	0.556	0.1112	1.088	0.3825	12.100	12.483	1.5	1.8825	0.150811	NC	RUMUS 1	0.403
1	0.556	0.1112	1.088	1.1475	12.100	13.248	1.5	2.6475	0.199849	NC	RUMUS 1	0.283
1	0.556	0.1112	1.088	1.9125	12.100	14.013	1.5	3.4125	0.243533	NC	RUMUS 1	0.230
1	0.556	0.1112	1.088	2.6775	12.100	14.778	1.5	4.1775	0.282693	NC	RUMUS 1	0.198
1	0.556	0.1112	1.088	3.4425	12.100	15.543	1.5	4.9425	0.317999	NC	RUMUS 1	0.174
1	0.556	0.1112	1.088	4.2075	12.100	16.308	1.5	5.7075	0.349992	NC	RUMUS 1	0.157
1	0.556	0.1112	1.127	4.9455	12.100	17.046	1.5	6.4455	0.378135	NC	RUMUS 1	0.140
1	0.556	0.1112	1.127	5.6565	12.100	17.757	1.5	7.1565	0.403036	NC	RUMUS 1	0.130
1	0.556	0.1112	1.127	6.3675	12.100	18.468	1.5	7.8675	0.426019	NC	RUMUS 1	0.121
1.5	0.556	0.1112	1.201	7.25625	12.100	19.356	1.5	8.75625	0.452373	NC	RUMUS 1	0.161
1.5	0	0	1.201	8.1645	12.096	20.261	1.5	9.6645	0.477012	NC	RUMUS 1	0.000
1.5	0.257	0.0514	1.201	9.07275	12.092	21.165	1.5	10.57275	0.499545	NC	RUMUS 1	0.064
1.5	0	0	1.201	10.206	12.088	22.294	1.5	11.706	0.525074	NC	RUMUS 1	0.000
1	0	0	1.201	11.206	12.084	23.290	1.5	12.706	0.545556	NC	RUMUS 1	0.000
1	0	0	1.201	12.006	12.036	24.042	1.5	13.506	0.561776	NC	RUMUS 1	0.000
1	0	0	1.201	12.806	12.009	24.815	1.5	14.306	0.576497	NC	RUMUS 1	0.000
1	0.257	0.0514	1.201	13.5615	11.983	25.545	1.5	15.0615	0.589614	NC	RUMUS 1	0.032
1	0.257	0.0514	1.201	14.2725	11.957	26.230	1.5	15.7725	0.601327	NC	RUMUS 1	0.031
										Sctot=		2.125

Mencari SC dengan Q = 14.8 t/m + Surcharge 1 t/m

Kedalaman	z	a1	b1	a1/z	b1/z	I1	I2	Δσ1	B	L	z2	m	n	l	Δσ2	Δσ'	
(m)	(m)	(m)	(m)					(t/m2)	(m)	(m)	(m)	B/z2	L/z2			(t/m2)	
0	1	0.5	16	50.00	31.99816	100	0.5	0.5	14.80	55	47.5	8.500	6.470938	5.588537	0.25	1	15.80
1	2	1.5	16	50.00	10.66605	33.33333	0.5	0.5	14.80	55	47.5	9.500	5.789754	5.000242	0.25	1	15.80
2	3	2.5	16	50.00	6.399632	20	0.5	0.5	14.80	55	47.5	10.500	5.238324	4.524007	0.25	1	15.80
3	4	3.5	16	50.00	4.571166	14.28571	0.5	0.5	14.80	55	47.5	11.500	4.7828	4.1306	0.25	1	15.80
4	5	4.5	16	50.00	3.555351	11.11111	0.5	0.5	14.80	55	47.5	12.500	4.400162	3.80014	0.25	1	15.80
5	6	5.5	16	50.00	2.908924	9.090909	0.5	0.5	14.80	55	47.5	13.500	4.074213	3.518638	0.25	1	15.80
6	7	6.5	16	50.00	2.461397	7.692308	0.5	0.5	14.80	55	47.5	14.500	3.793224	3.275966	0.25	1	15.80
7	8	7.5	16	50.00	2.133211	6.666667	0.5	0.5	14.80	55	47.5	15.500	3.548492	3.064607	0.25	1	15.80
8	9	8.5	16	50.00	1.882245	5.882353	0.5	0.5	14.80	55	47.5	16.500	3.333426	2.878868	0.249	0.996	15.80
9	10.5	9.75	16	50.00	1.640931	5.128205	0.5	0.5	14.80	55	47.5	17.750	3.098672	2.676126	0.248	0.992	15.79
10.5	12	11.25	16	50.00	1.422141	4.444444	0.5	0.5	14.80	55	47.5	19.250	2.857211	2.467591	0.247	0.988	15.79
12	13.5	12.75	16	50.00	1.25483	3.921569	0.5	0.5	14.80	55	47.5	20.750	2.650661	2.289207	0.246	0.984	15.78
13.5	15	14.25	16	50.00	1.122743	3.508772	0.5	0.5	14.80	55	47.5	22.250	2.471961	2.134876	0.245	0.98	15.78
15	16	15.5	16	50.00	1.032199	3.225806	0.5	0.5	14.80	55	47.5	23.500	2.340471	2.021316	0.244	0.976	15.78
16	17	16.5	16	50.00	0.969641	3.030303	0.496	0.5	14.74	55	47.5	24.500	2.24494	1.938812	0.243	0.972	15.71
17	18	17.5	16	50.00	0.914233	2.857143	0.495	0.5	14.73	55	47.5	25.500	2.156902	1.862779	0.242	0.968	15.69
18	19	18.5	16	50.00	0.864815	2.702703	0.494	0.5	14.71	55	47.5	26.500	2.075508	1.792484	0.24	0.96	15.67
19	20	19.5	16	50.00	0.820466	2.564103	0.493	0.5	14.70	55	47.5	27.500	2.000033	1.727302	0.238	0.952	15.65

Hi	Cc	Cs	eo	σ'o	Δσ'	Δσ' + σ'o	Pfluktiasi	σ'c	OCR	OCR	rumus	SC
(m)				(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)			SC	(m)
1	0.556	0.1112	1.088	0.3825	15.800	16.183	1.5	1.8825	0.116329	NC	RUMUS 1	0.433
1	0.556	0.1112	1.088	1.1475	15.800	16.948	1.5	2.6475	0.156218	NC	RUMUS 1	0.311
1	0.556	0.1112	1.088	1.9125	15.800	17.713	1.5	3.4125	0.192661	NC	RUMUS 1	0.257
1	0.556	0.1112	1.088	2.6775	15.800	18.478	1.5	4.1775	0.226086	NC	RUMUS 1	0.223
1	0.556	0.1112	1.088	3.4425	15.800	19.243	1.5	4.9425	0.256853	NC	RUMUS 1	0.199
1	0.556	0.1112	1.088	4.2075	15.800	20.008	1.5	5.7075	0.285268	NC	RUMUS 1	0.180
1	0.556	0.1112	1.127	4.9455	15.800	20.746	1.5	6.4455	0.310694	NC	RUMUS 1	0.163
1	0.556	0.1112	1.127	5.6565	15.800	21.457	1.5	7.1565	0.333535	NC	RUMUS 1	0.151
1	0.556	0.1112	1.127	6.3675	15.796	22.164	1.5	7.8675	0.354976	NC	RUMUS 1	0.142
1.5	0.556	0.1112	1.201	7.25625	15.792	23.048	1.5	8.75625	0.37991	NC	RUMUS 1	0.190
1.5	0	0	1.201	8.1645	15.788	23.953	1.5	9.6645	0.403486	NC	RUMUS 1	0.000
1.5	0.257	0.0514	1.201	9.07275	15.784	24.857	1.5	10.57275	0.425347	NC	RUMUS 1	0.077
1.5	0	0	1.201	10.206	15.780	25.986	1.5	11.706	0.450473	NC	RUMUS 1	0.000
1	0	0	1.201	11.206	15.776	26.982	1.5	12.706	0.470907	NC	RUMUS 1	0.000
1	0	0	1.201	12.006	15.713	27.719	1.5	13.506	0.487251	NC	RUMUS 1	0.000
1	0	0	1.201	12.806	15.694	28.500	1.5	14.306	0.501965	NC	RUMUS 1	0.000
1	0.257	0.0514	1.201	13.5615	15.671	29.233	1.5	15.0615	0.515228	NC	RUMUS 1	0.039
1	0.257	0.0514	1.201	14.2725	15.648	29.921	1.5	15.7725	0.52714	NC	RUMUS 1	0.038
										Sctot=		2.404

Mencari SC dengan $Q = 18,5 \text{ t/m} + \text{Surcharge } 1 \text{ t/m}$

Kedalaman	z	a1	b1	a1/z	b1/z	I1	I2	Δσ1	B	L	z2	m	n	I	Δσ2	Δσ'	
(m)	(m)	(m)	(m)					(t/m2)	(m)	(m)	(m)	B/z2	L/z2			(t/m2)	
0	1	0.5	20	50.00	39.99816	100	0.5	0.5	18.50	55	47.5	10.500	5.238324	4.524007	0.25	1	19.50
1	2	1.5	20	50.00	13.33272	33.33333	0.5	0.5	18.50	55	47.5	11.500	4.7828	4.1306	0.25	1	19.50
2	3	2.5	20	50.00	7.999632	20	0.5	0.5	18.50	55	47.5	12.500	4.400162	3.80014	0.25	1	19.50
3	4	3.5	20	50.00	5.714023	14.28571	0.5	0.5	18.50	55	47.5	13.500	4.074213	3.518638	0.25	1	19.50
4	5	4.5	20	50.00	4.44424	11.11111	0.5	0.5	18.50	55	47.5	14.500	3.793224	3.275966	0.25	1	19.50
5	6	5.5	20	50.00	3.636197	9.090909	0.5	0.5	18.50	55	47.5	15.500	3.548492	3.064607	0.25	1	19.50
6	7	6.5	20	50.00	3.076782	7.692308	0.5	0.5	18.50	55	47.5	16.500	3.333426	2.878868	0.249	0.996	19.50
7	8	7.5	20	50.00	2.666544	6.666667	0.5	0.5	18.50	55	47.5	17.500	3.14294	2.714357	0.248	0.992	19.49
8	9	8.5	20	50.00	2.352833	5.882353	0.5	0.5	18.50	55	47.5	18.500	2.973047	2.567631	0.247	0.988	19.49
9	10.5	9.75	20	50.00	2.051188	5.128205	0.5	0.5	18.50	55	47.5	19.750	2.784875	2.405119	0.246	0.984	19.48
10.5	12	11.25	20	50.00	1.777696	4.444444	0.5	0.5	18.50	55	47.5	21.250	2.588291	2.235342	0.245	0.98	19.48
12	13.5	12.75	20	50.00	1.568555	3.921569	0.5	0.5	18.50	55	47.5	22.750	2.417631	2.087954	0.244	0.976	19.48
13.5	15	14.25	20	50.00	1.403444	3.508772	0.5	0.5	18.50	55	47.5	24.250	2.268084	1.9588	0.242	0.969333	19.47
15	16	15.5	20	50.00	1.290263	3.225806	0.5	0.5	18.50	55	47.5	25.500	2.156902	1.862779	0.240	0.959333	19.46
16	17	16.5	20	50.00	1.212066	3.030303	0.497	0.5	18.44	55	47.5	26.500	2.075508	1.792484	0.237	0.949333	19.39
17	18	17.5	20	50.00	1.142805	2.857143	0.496	0.5	18.43	55	47.5	27.500	2.000033	1.727302	0.235	0.94	19.37
18	19	18.5	20	50.00	1.081031	2.702703	0.495	0.5	18.41	55	47.5	28.500	1.929856	1.666694	0.232	0.928	19.34
19	20	19.5	20	50.00	1.025594	2.564103	0.494	0.5	18.39	55	47.5	29.500	1.864436	1.610195	0.23	0.92	19.31

Hi (m)	Cc	Cs	eo	σ'_o (t/m2)	$\Delta\sigma'$ (t/m2)	$\Delta\sigma' + \sigma'_o$ (t/m2)	Pfluktuasi (t/m2)	σ'_c (t/m2)	OCR	OCR	rumus SC	SC (m)
1	0.556	0.1112	1.088	0.3825	19.500	19.883	1.5	1.8825	0.094681	NC	RUMUS 1	0.457
1	0.556	0.1112	1.088	1.1475	19.500	20.648	1.5	2.6475	0.128224	NC	RUMUS 1	0.334
1	0.556	0.1112	1.088	1.9125	19.500	21.413	1.5	3.4125	0.15937	NC	RUMUS 1	0.279
1	0.556	0.1112	1.088	2.6775	19.500	22.178	1.5	4.1775	0.188367	NC	RUMUS 1	0.244
1	0.556	0.1112	1.088	3.4425	19.500	22.943	1.5	4.9425	0.21543	NC	RUMUS 1	0.219
1	0.556	0.1112	1.088	4.2075	19.500	23.708	1.5	5.7075	0.240747	NC	RUMUS 1	0.200
1	0.556	0.1112	1.127	4.9455	19.496	24.442	1.5	6.4455	0.263711	NC	RUMUS 1	0.181
1	0.556	0.1112	1.127	5.6565	19.492	25.149	1.5	7.1565	0.28457	NC	RUMUS 1	0.169
1	0.556	0.1112	1.127	6.3675	19.488	25.856	1.5	7.8675	0.304287	NC	RUMUS 1	0.159
1.5	0.556	0.1112	1.201	7.25625	19.484	26.740	1.5	8.75625	0.327456	NC	RUMUS 1	0.215
1.5	0	0	1.201	8.1645	19.480	27.645	1.5	9.6645	0.349599	NC	RUMUS 1	0.000
1.5	0.257	0.0514	1.201	9.07275	19.476	28.549	1.5	10.57275	0.37034	NC	RUMUS 1	0.087
1.5	0	0	1.201	10.206	19.469	29.675	1.5	11.706	0.394469	NC	RUMUS 1	0.000
1	0	0	1.201	11.206	19.459	30.665	1.5	12.706	0.414344	NC	RUMUS 1	0.000
1	0	0	1.201	12.006	19.394	31.400	1.5	13.506	0.43013	NC	RUMUS 1	0.000
1	0	0	1.201	12.806	19.366	32.172	1.5	14.306	0.444672	NC	RUMUS 1	0.000
1	0.257	0.0514	1.201	13.5615	19.336	32.897	1.5	15.0615	0.457838	NC	RUMUS 1	0.045
1	0.257	0.0514	1.201	14.2725	19.309	33.582	1.5	15.7725	0.469678	NC	RUMUS 1	0.043
										Sctot=		2.634

Lampiran 4 Perhitungan Perencanaan PVD

Perencanaan Pada Area 1 ORF

PVD Segitiga ORF S=1,1 m

t (minggu)	Tv	Uv	A=tx8xCh/D^2*2xF(n)	e^A	Uh	Utotal (%)
1	1.853E-08	0.00015362	0.316790629	1.372715135	0.27151674	27.16286
2	3.707E-08	0.000217252	0.633581258	1.884346843	0.46931214	46.94274
3	5.56E-08	0.000266078	0.950371888	2.586671432	0.61340277	61.35056
4	7.414E-08	0.00030724	1.267162517	3.550763024	0.71837039	71.84569
5	9.267E-08	0.000343505	1.583953146	4.874186146	0.79483754	79.4908
6	1.112E-07	0.000376291	1.900743775	6.690869095	0.85054258	85.05988
7	1.297E-07	0.000406441	2.217534405	9.184657276	0.89112277	89.1167
8	1.483E-07	0.000434504	2.534325034	12.60791806	0.92068476	92.07192
9	1.668E-07	0.000460861	2.851115663	17.30707994	0.94222018	94.22468
10	1.853E-07	0.00048579	3.167906292	23.75769058	0.95790837	95.79288
11	2.039E-07	0.000509501	3.484696921	32.61254145	0.96933695	96.93526
12	2.224E-07	0.000532156	3.801487551	44.76772925	0.97766248	97.76744
13	2.41E-07	0.000553886	4.11827818	61.45333952	0.98372749	98.37365
14	2.595E-07	0.000574794	4.435068809	84.35792927	0.98814575	98.81526
15	2.78E-07	0.000594969	4.751859438	115.7994063	0.99136438	99.13695
16	2.966E-07	0.000614481	5.068650067	158.9595977	0.99370909	99.3713
17	3.151E-07	0.000633392	5.385440697	218.2062457	0.99541718	99.54201
18	3.336E-07	0.000651755	5.702231326	299.5350161	0.99666149	99.66637
19	3.522E-07	0.000669615	6.019021955	411.1762502	0.99756795	99.75696
20	3.707E-07	0.00068701	6.335812584	564.4278619	0.99822829	99.82295

PVD Segitiga ORF S=1,2 m

t (minggu)	Tv	Uv	A=tx8xCh/D^2*2xF(n)	e^A	Uh	Utotal (%)
1	1.85E-08	0.000154	0.255714154	1.291384	0.225637	22.57557
2	3.71E-08	0.000217	0.511428308	1.667671	0.400362	40.04918
3	5.56E-08	0.000266	0.767142462	2.153603	0.535662	53.57855
4	7.41E-08	0.000307	1.022856616	2.781128	0.640434	64.05441
5	9.27E-08	0.000344	1.278570771	3.591503	0.721565	72.16607
6	1.11E-07	0.000376	1.534284925	4.638008	0.78439	78.44713
7	1.3E-07	0.000406	1.789999079	5.989447	0.83304	83.31075
8	1.48E-07	0.000435	2.045713233	7.734673	0.870712	87.07682
9	1.67E-07	0.000461	2.301427387	9.98843	0.899884	89.99303
10	1.85E-07	0.000486	2.557141541	12.89889	0.922474	92.25116
11	2.04E-07	0.00051	2.812855695	16.65742	0.939967	93.99973
12	2.22E-07	0.000532	3.068569849	21.51112	0.953512	95.35371
13	2.41E-07	0.000554	3.324284003	27.7791	0.964002	96.40217
14	2.59E-07	0.000575	3.579998157	35.87347	0.972124	97.21403
15	2.78E-07	0.000595	3.835712312	46.32641	0.978414	97.84269
16	2.97E-07	0.000614	4.091426466	59.82517	0.983285	98.32949
17	3.15E-07	0.000633	4.34714062	77.25724	0.987056	98.70644
18	3.34E-07	0.000652	4.602854774	99.76873	0.989977	98.99834
19	3.52E-07	0.00067	4.858568928	128.8397	0.992238	99.22436
20	3.71E-07	0.000687	5.114283082	166.3815	0.99399	99.39938

PVD Segitiga ORF S=1,3 m

t (minggu)	Tv	Uv	A=tx8xCh/D^2*2xF(n)	e^A	Uh	Utotal (%)
1	1.85E-08	0.000154	0.210265999	1.234006	0.189631	18.97558
2	3.71E-08	0.000217	0.420531998	1.522771	0.343303	34.34453
3	5.56E-08	0.000266	0.630797997	1.87911	0.467833	46.79746
4	7.41E-08	0.000307	0.841063996	2.318833	0.568749	56.88811
5	9.27E-08	0.000344	1.051329995	2.861454	0.650527	65.06474
6	1.11E-07	0.000376	1.261595994	3.531053	0.716798	71.69049
7	1.3E-07	0.000406	1.471861993	4.357341	0.770502	77.05955
8	1.48E-07	0.000435	1.682127992	5.376986	0.814022	81.4103
9	1.67E-07	0.000461	1.892393991	6.635234	0.849289	84.93589
10	1.85E-07	0.000486	2.10265999	8.187921	0.877869	87.79282
11	2.04E-07	0.00051	2.312925989	10.10395	0.901029	90.10792
12	2.22E-07	0.000532	2.523191988	12.46833	0.919797	91.98395
13	2.41E-07	0.000554	2.733457987	15.386	0.935006	93.50418
14	2.59E-07	0.000575	2.943723986	18.98642	0.947331	94.73611
15	2.78E-07	0.000595	3.153989985	23.42936	0.957319	95.73439
16	2.97E-07	0.000614	3.364255984	28.91198	0.965412	96.54335
17	3.15E-07	0.000633	3.574521983	35.67756	0.971971	97.19889
18	3.34E-07	0.000652	3.784787982	44.02634	0.977286	97.73011
19	3.52E-07	0.00067	3.995053981	54.32877	0.981594	98.16059
20	3.71E-07	0.000687	4.20531998	67.04205	0.985084	98.50942

PVD Segitiga ORF S=1,4 m

t (minggu)	Tv	Uv (%)	A=tx8xCh/D^2*2xF(n)	e^A	Uh (%)	Utotal (%)
1	1.85347E-08	0.000154	0.175609818	1.191973	0.161055	16.11836
2	3.70695E-08	0.000217	0.351219637	1.420799	0.296171	29.63238
3	5.56042E-08	0.000266	0.526829455	1.693554	0.409526	40.96683
4	7.4139E-08	0.000307	0.702439274	2.018671	0.504625	50.47767
5	9.26737E-08	0.000344	0.878049092	2.406201	0.584407	58.45499
6	1.11208E-07	0.000376	1.053658911	2.868126	0.65134	65.14715
7	1.29743E-07	0.000406	1.229268729	3.418729	0.707494	70.76125
8	1.48278E-07	0.000435	1.404878548	4.075032	0.754603	75.47098
9	1.66813E-07	0.000461	1.580488366	4.857327	0.794125	79.42203
10	1.85347E-07	0.000486	1.756098185	5.789803	0.827283	82.73664
11	2.03882E-07	0.00051	1.931708003	6.901288	0.8551	85.51733
12	2.22417E-07	0.000532	2.107317822	8.226148	0.878436	87.85011
13	2.40952E-07	0.000554	2.28292764	9.805345	0.898015	89.80713
14	2.59486E-07	0.000575	2.458537459	11.68771	0.91444	91.44892
15	2.78021E-07	0.000595	2.634147277	13.93143	0.92822	92.82626
16	2.96556E-07	0.000614	2.809757096	16.60588	0.93978	93.98174
17	3.15091E-07	0.000633	2.985366914	19.79376	0.949479	94.9511
18	3.33625E-07	0.000652	3.160976732	23.59363	0.957616	95.76433
19	3.5216E-07	0.00067	3.336586551	28.12297	0.964442	96.44657
20	3.70695E-07	0.000687	3.512196369	33.52181	0.970169	97.01892

PVD Segitiga ORF S=1,5 m

t (minggu)	Tv	Uv (%)	A=tx8xCh/D^2*2xF(n)	e^A	Uh (%)	Utotal (%)
1	1.85347E-08	0.015362	0.148629394	1.160243	0.138112	15.13519
2	3.70695E-08	0.021725	0.297258788	1.346164	0.257148	27.32868
3	5.56042E-08	0.026608	0.445888182	1.561877	0.359745	37.67804
4	7.4139E-08	0.030724	0.594517577	1.812157	0.448171	46.51257
5	9.26737E-08	0.034351	0.743146971	2.102542	0.524385	54.07228
6	1.11208E-07	0.037629	0.891776365	2.439459	0.590073	60.54983
7	1.29743E-07	0.040644	1.040405759	2.830365	0.646689	66.10487
8	1.48278E-07	0.04345	1.189035153	3.283911	0.695485	70.87163
9	1.66813E-07	0.046086	1.337664547	3.810135	0.737542	74.96377
10	1.85347E-07	0.048579	1.486293941	4.420682	0.773791	78.47796
11	2.03882E-07	0.05095	1.634923336	5.129065	0.805033	81.49663
12	2.22417E-07	0.053216	1.78355273	5.950961	0.83196	84.09023
13	2.40952E-07	0.055389	1.932182124	6.90456	0.855168	86.31902
14	2.59486E-07	0.057479	2.080811518	8.010967	0.875171	88.23462
15	2.78021E-07	0.059497	2.229440912	9.294668	0.892411	89.88126
16	2.96556E-07	0.061448	2.378070306	10.78407	0.907271	91.29687
17	3.15091E-07	0.063339	2.5266997	12.51214	0.920078	92.51399
18	3.33625E-07	0.065176	2.675320905	14.51713	0.931116	93.56054
19	3.5216E-07	0.066961	2.823958489	16.84339	0.94063	94.46051
20	3.70695E-07	0.068701	2.972587883	19.54243	0.948829	95.23448

PVD Segitiga ORF S=1,6 m

t (minggu)	Tv	Uv (%)	A=tx8xCh/D^2*2xF(n)	e^A	Uh (%)	Utotal (%)
1	1.85E-08	0.015362	0.127247499	1.135698	0.119484	13.30108
2	3.71E-08	0.021725	0.254494998	1.28981	0.224692	24.15358
3	5.56E-08	0.026608	0.381742496	1.464835	0.317329	33.54935
4	7.41E-08	0.030724	0.508989995	1.66361	0.398898	41.73659
5	9.27E-08	0.034351	0.636237494	1.889359	0.47072	48.89009
6	1.11E-07	0.037629	0.763484993	2.145741	0.533961	55.14972
7	1.3E-07	0.040644	0.890732492	2.436914	0.589645	60.63234
8	1.48E-07	0.04345	1.01797999	2.767599	0.638676	65.43756
9	1.67E-07	0.046086	1.145227489	3.143156	0.681848	69.65108
10	1.85E-07	0.048579	1.272474988	3.569677	0.719863	73.34714
11	2.04E-07	0.05095	1.399722487	4.054075	0.753335	76.59022
12	2.22E-07	0.053216	1.526969986	4.604205	0.782807	79.43653
13	2.41E-07	0.055389	1.654217484	5.228987	0.808758	81.9351
14	2.59E-07	0.057479	1.781464983	5.93855	0.831609	84.12878
15	2.78E-07	0.059497	1.908712482	6.7444	0.851729	86.05505
16	2.97E-07	0.061448	2.035959981	7.659602	0.869445	87.74673
17	3.15E-07	0.063339	2.163207479	8.698995	0.885044	89.23254
18	3.34E-07	0.065176	2.290454978	9.879432	0.89878	90.53767
19	3.52E-07	0.066961	2.417702477	11.22005	0.910874	91.68419
20	3.71E-07	0.068701	2.544949976	12.74259	0.921523	92.69145

PVD Segiempat ORF S=1,1 m

t (minggu)	Tv	Uv (%)	A=tx8xCh/D^2*2xF(n)	e^A	Uh (%)	Utotal (%)
1	1.853E-08	0.00015362	0.264381906	1.302625582	0.2322197	23.24376
2	3.707E-08	0.000217252	0.528763813	1.696833408	0.41066695	41.0795
3	5.56E-08	0.000266078	0.793145719	2.210338606	0.54758063	54.7701
4	7.414E-08	0.00030724	1.057527626	2.879243615	0.65268656	65.27933
5	9.267E-08	0.000343505	1.321909532	3.75057639	0.73337431	73.34659
6	1.112E-07	0.000376291	1.586291439	4.885596755	0.79531671	79.53937
7	1.297E-07	0.000406441	1.850673345	6.364103319	0.84286867	84.29325
8	1.483E-07	0.000434504	2.115055252	8.290043792	0.87937338	87.94258
9	1.668E-07	0.000460861	2.379437158	10.79882312	0.90739732	90.744
10	1.853E-07	0.00048579	2.643819065	14.06682326	0.92891074	92.89453
11	2.039E-07	0.000509501	2.908200971	18.32380384	0.94542618	94.5454
12	2.224E-07	0.000532156	3.172582877	23.86905565	0.95810475	95.8127
13	2.41E-07	0.000553886	3.436964784	31.09244252	0.96783784	96.78557
14	2.595E-07	0.000574794	3.70134669	40.5018105	0.97530975	97.53239
15	2.78E-07	0.000594969	3.965728597	52.75869521	0.98104578	98.10571
16	2.966E-07	0.000614481	4.230110503	68.72482607	0.98544922	98.54582
17	3.151E-07	0.000633392	4.49449241	89.52271659	0.98882965	98.88367
18	3.336E-07	0.000651755	4.758874316	116.6145808	0.99142474	99.14303
19	3.522E-07	0.000669615	5.023256223	151.9051363	0.99341694	99.34214
20	3.707E-07	0.00068701	5.287638129	197.8755166	0.99494632	99.49498

PVD Segiempat ORF S=1,2 m

t (minggu)	Tv	Uv (%)	A=tx8xCh/D^2*2xF(n)	e^A	Uh (%)	Utotal (%)
1	1.85E-08	0.000154	0.213684306	1.238232	0.192397	19.25208
2	3.71E-08	0.000217	0.427368611	1.533218	0.347777	34.79186
3	5.56E-08	0.000266	0.641052917	1.898479	0.473262	47.34026
4	7.41E-08	0.000307	0.854737222	2.350757	0.574605	57.47357
5	9.27E-08	0.000344	1.068421528	2.910781	0.656465	65.65676
6	1.11E-07	0.000376	1.282105833	3.604222	0.722548	72.2652
7	1.3E-07	0.000406	1.495790139	4.462861	0.775929	77.60196
8	1.48E-07	0.000435	1.709474444	5.526056	0.819039	81.91178
9	1.67E-07	0.000461	1.92315875	6.842538	0.853855	85.39228
10	1.85E-07	0.000486	2.136843055	8.472648	0.881973	88.20305
11	2.04E-07	0.00051	2.350527361	10.4911	0.904681	90.47297
12	2.22E-07	0.000532	2.564211667	12.99041	0.92302	92.30611
13	2.41E-07	0.000554	2.777895972	16.08514	0.937831	93.78653
14	2.59E-07	0.000575	2.991580278	19.91713	0.949792	94.98208
15	2.78E-07	0.000595	3.205264583	24.66202	0.959452	95.9476
16	2.97E-07	0.000614	3.418948889	30.5373	0.967253	96.72733
17	3.15E-07	0.000633	3.632633194	37.81225	0.973554	97.35703
18	3.34E-07	0.000652	3.8463175	46.82033	0.978642	97.86557
19	3.52E-07	0.00067	4.060001805	57.97442	0.982751	98.27626
20	3.71E-07	0.000687	4.273686111	71.78576	0.98607	98.60792

PVD Segiempat ORF S=1,3 m

t (minggu)	Tv	Uv (%)	A=tx8xCh/D^2*2xF(n)	e^A	Uh (%)	Utotal (%)
1	1.85E-08	0.000154	0.175899706	1.192318	0.161298	16.14267
2	3.71E-08	0.000217	0.351799412	1.421623	0.296579	29.67316
3	5.56E-08	0.000266	0.527699118	1.695028	0.410039	41.01961
4	7.41E-08	0.000307	0.703598824	2.021013	0.505199	50.53506
5	9.27E-08	0.000344	0.87949853	2.409691	0.585009	58.51516
6	1.11E-07	0.000376	1.055398236	2.873119	0.651946	65.20772
7	1.3E-07	0.000406	1.231297942	3.425673	0.708087	70.82052
8	1.48E-07	0.000435	1.407197649	4.084493	0.755172	75.5278
9	1.67E-07	0.000461	1.583097355	4.870017	0.794662	79.47565
10	1.85E-07	0.000486	1.758997061	5.806611	0.827782	82.78662
11	2.04E-07	0.00051	1.934896767	6.923329	0.855561	85.56344
12	2.22E-07	0.000532	2.110796473	8.254813	0.878859	87.8923
13	2.41E-07	0.000554	2.286696179	9.842366	0.898398	89.84547
14	2.59E-07	0.000575	2.462595885	11.73524	0.914787	91.48355
15	2.78E-07	0.000595	2.638495591	13.99214	0.928531	92.85738
16	2.97E-07	0.000614	2.814395297	16.68308	0.940059	94.00959
17	3.15E-07	0.000633	2.990295003	19.89155	0.949727	94.97592
18	3.34E-07	0.000652	3.166194709	23.71706	0.957836	95.78637
19	3.52E-07	0.00067	3.342094415	28.27829	0.964637	96.46609
20	3.71E-07	0.000687	3.517994121	33.71673	0.970341	97.03615

PVD Segiempat ORF S=1,4 m

t (minggu)	Tv	Uv (%)	A=tx8xCh/D^2*2xF(n)	e^A	Uh (%)	Utotal (%)
1	1.85347E-08	0.000154	0.147048377	1.15841	0.136748	13.68804
2	3.70695E-08	0.000217	0.294096753	1.341914	0.254796	25.49575
3	5.56042E-08	0.000266	0.44114513	1.554486	0.356701	35.68718
4	7.4139E-08	0.000307	0.588193506	1.800732	0.44467	44.4841
5	9.26737E-08	0.000344	0.735241883	2.085986	0.520611	52.07752
6	1.11208E-07	0.000376	0.882290259	2.416428	0.586166	58.63217
7	1.29743E-07	0.000406	1.029338636	2.799214	0.642757	64.2902
8	1.48278E-07	0.000435	1.176387013	3.242637	0.691609	69.17431
9	1.66813E-07	0.000461	1.323435389	3.756304	0.733781	73.39035
10	1.85347E-07	0.000486	1.470483766	4.35134	0.770186	77.02974
11	2.03882E-07	0.00051	1.617532142	5.040635	0.801612	80.17134
12	2.22417E-07	0.000532	1.764580519	5.839122	0.828741	82.88325
13	2.40952E-07	0.000554	1.911628895	6.764098	0.852161	85.22425
14	2.59486E-07	0.000575	2.058677272	7.835599	0.872377	87.24507
15	2.78021E-07	0.000595	2.205725649	9.076836	0.889829	88.9895
16	2.96556E-07	0.000614	2.352774025	10.5147	0.904895	90.49535
17	3.15091E-07	0.000633	2.499822402	12.18033	0.9179	91.79524
18	3.33625E-07	0.000652	2.646870778	14.10982	0.929127	92.91735
19	3.5216E-07	0.00067	2.793919155	16.34495	0.938819	93.886
20	3.70695E-07	0.000687	2.940967531	18.93416	0.947185	94.72217

PVD Segiempat ORF S=1,5 m

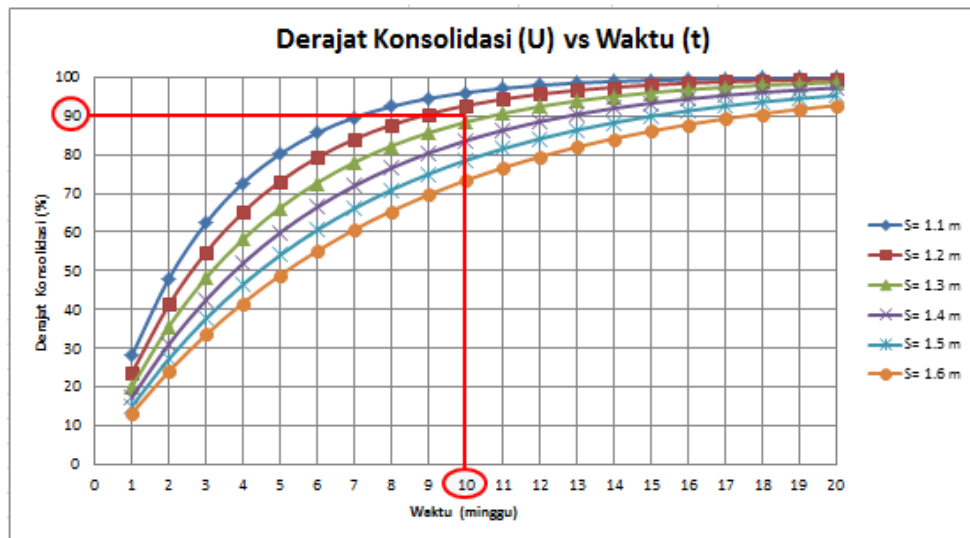
t (minggu)	Tv	Uv (%)	A=tx8xCh/D^2*2xF(n)	e^A	Uh (%)	Utotal (%)
1	1.85347E-08	0.015362	0.124560768	1.132651	0.117115	13.06783
2	3.70695E-08	0.021725	0.249121536	1.282898	0.220515	23.74492
3	5.56042E-08	0.026608	0.373682305	1.453075	0.311804	33.01159
4	7.4139E-08	0.030724	0.498243073	1.645827	0.392403	41.10706
5	9.26737E-08	0.034351	0.622803841	1.864147	0.463562	48.19887
6	1.11208E-07	0.037629	0.747364609	2.111428	0.526387	54.42086
7	1.29743E-07	0.040644	0.871925377	2.391511	0.581854	59.88495
8	1.48278E-07	0.04345	0.996486146	2.708747	0.630862	64.68664
9	1.66813E-07	0.046086	1.121046914	3.068065	0.674026	68.90828
10	1.85347E-07	0.048579	1.245607682	3.475046	0.712234	72.62134
11	2.03882E-07	0.05095	1.37016845	3.936014	0.745936	75.88804
12	2.22417E-07	0.053216	1.494729218	4.458129	0.775691	78.76274
13	2.40952E-07	0.055389	1.619289987	5.049504	0.801961	81.29298
14	2.59486E-07	0.057479	1.743850755	5.719325	0.825154	83.52042
15	2.78021E-07	0.059497	1.868411523	6.477998	0.845631	85.48158
16	2.96556E-07	0.061448	1.992972291	7.33731	0.86371	87.2085
17	3.15091E-07	0.063339	2.117533059	8.31061	0.879672	88.72934
18	3.33625E-07	0.065176	2.242093828	9.41302	0.893764	90.06881
19	3.5216E-07	0.066961	2.366654596	10.66166	0.906206	91.24866
20	3.70695E-07	0.068701	2.491215364	12.07594	0.917191	92.28798

PVD Segiempat ORF S=1,6 m

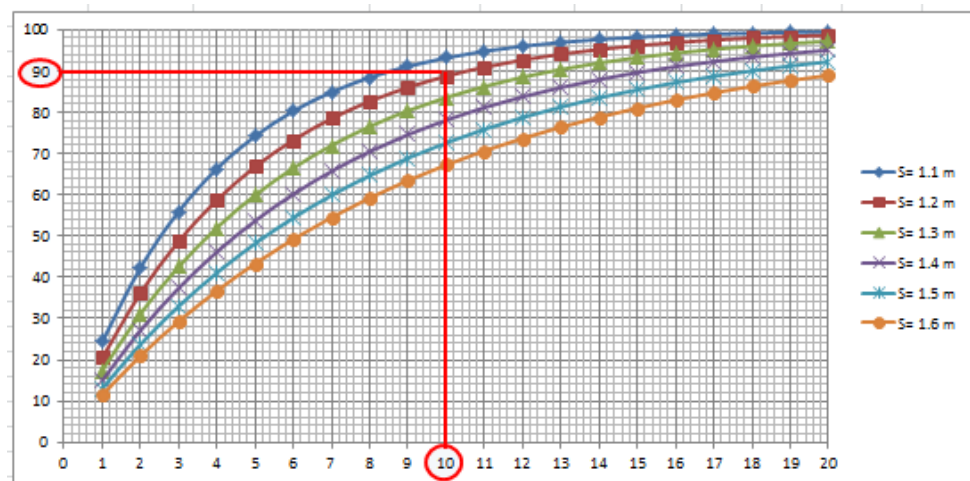
t (minggu)	Tv	Uv (%)	A=tx8xCh/D^2*2xF(n)	e^A	Uh (%)	Utotal (%)
1	1.85E-08	0.015362	0.106721038	1.112624	0.101224	11.50307
2	3.71E-08	0.021725	0.213442077	1.237932	0.192201	20.97506
3	5.56E-08	0.026608	0.320163115	1.377352	0.273969	29.32875
4	7.41E-08	0.030724	0.426884153	1.532475	0.347461	36.75095
5	9.27E-08	0.034351	0.533605192	1.705608	0.413513	43.36594
6	1.11E-07	0.037629	0.64032623	1.8971	0.47288	49.27146
7	1.3E-07	0.040644	0.747047269	2.110758	0.526237	54.54923
8	1.48E-07	0.04345	0.853768307	2.34848	0.574193	59.26941
9	1.67E-07	0.046086	0.960489345	2.612975	0.617294	63.49318
10	1.85E-07	0.048579	1.067210384	2.907258	0.656033	67.27428
11	2.04E-07	0.05095	1.173931422	3.234685	0.690851	70.6602
12	2.22E-07	0.053216	1.28065246	3.598987	0.722144	73.69303
13	2.41E-07	0.055389	1.387373499	4.004319	0.75027	76.41018
14	2.59E-07	0.057479	1.494094537	4.455301	0.775548	78.84496
15	2.78E-07	0.059497	1.600815576	4.957074	0.798268	81.02705
16	2.97E-07	0.061448	1.707536614	5.515358	0.818688	82.98294
17	3.15E-07	0.063339	1.814257652	6.136519	0.837041	84.73629
18	3.34E-07	0.065176	1.920978691	6.827637	0.853536	86.30823
19	3.52E-07	0.066961	2.027699729	7.596592	0.868362	87.71767
20	3.71E-07	0.068701	2.134420767	8.452149	0.881687	88.98151

Lampiran 5

Dengan cara yang sama dengan diatas, didapatkan grafik untuk Area 2:
Pola Segitiga dengan jarak 1,3 m (non ORF)



Pola Segiempat dengan jarak 1,2 m (non ORF)



Lampiran 6 Perhitungan Peningkatan Kohesi *Undrainde* (C_u) Area 2

Tabel Tegangan efektif

Tegangan	Tegangan efektif													
	Hi	z	Po'	σ1'	σ2'	σ3'	σ4'	σ5'	σ6'	σ7'	σ8'	σ9'	σ10'	σ11'
Kedalaman	(m)	(m)	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2
			H= 0m	H= 0.6m	H= 1.2m	H= 1.8m	H= 2.4m	H= 3m	H= 3.6m	H= 4.2m	H= 4.8m	H= 5.4m	H= 6m	H= 6.6m
1	1	0.5	0.3825	1.493	2.603	3.713	4.823	5.933	7.043	8.153	9.263	10.373	11.483	12.593
2	1	1.5	1.1475	2.258	3.368	4.478	5.588	6.698	7.808	8.918	10.028	11.138	12.248	13.358
3	1	2.5	1.9125	3.023	4.133	5.243	6.353	7.463	8.573	9.683	10.793	11.903	13.013	14.123
4	1	3.5	2.6775	3.788	4.898	6.008	7.118	8.228	9.338	10.448	11.558	12.668	13.778	14.888
5	1	4.5	3.4425	4.553	5.663	6.773	7.883	8.993	10.103	11.213	12.323	13.433	14.543	15.653
6	1	5.5	4.2075	5.318	6.428	7.538	8.648	9.758	10.868	11.978	13.088	14.198	15.308	16.418
7	1	6.5	4.9455	6.056	7.166	8.276	9.386	10.496	11.606	12.716	13.826	14.936	16.046	17.156
8	1	7.5	5.6565	6.767	7.877	8.987	10.097	11.207	12.317	13.427	14.537	15.647	16.757	17.867
9	1	8.5	6.3675	7.478	8.588	9.698	10.808	11.918	13.028	14.138	15.248	16.358	17.468	18.578
10.5	1.5	9.75	7.25625	8.366	9.476	10.586	11.696	12.806	13.916	15.026	16.136	17.246	18.356	19.466
12	1.5	11.25	8.1645	9.275	10.385	11.495	12.605	13.715	14.825	15.935	17.045	18.155	19.265	20.375
13.5	1.5	12.75	9.07275	10.183	11.293	12.403	13.513	14.623	15.733	16.843	17.948	19.053	20.157	21.259
15	1.5	14.25	10.206	11.316	12.426	13.534	14.642	15.749	16.857	17.959	19.062	20.164	21.266	22.366
16	1	15.5	11.206	12.308	13.410	14.513	15.615	16.717	17.819	18.918	20.017	21.116	22.215	23.313
17	1	16.5	12.006	13.105	14.204	15.303	16.402	17.501	18.599	19.697	20.795	21.893	22.991	24.087
18	1	17.5	12.806	13.903	15.000	16.098	17.196	18.294	19.392	20.488	21.585	22.682	23.778	24.873
19	1	18.5	13.5615	14.656	15.753	16.849	17.946	19.043	20.139	21.235	22.331	23.426	24.522	25.613
20	1	19.5	14.2725	15.365	16.460	17.556	18.651	19.747	20.843	21.937	23.029	24.122	25.215	26.305

Tabel Derajat Konsolidasi $U<90\%$

Derajat Konsolidasi $U<100\%$														
Perubahan	Po'	ΔP1'	ΔP2'	ΔP3'	ΔP4'	ΔP5'	ΔP6'	ΔP7'	ΔP8'	ΔP9'	ΔP10'	ΔP11'	Σσ'	
Tegangan	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2	t/m2
Tinggi Timb	H= 0m	H= 0.6m	H= 1.2m	H= 1.8m	H= 2.4m	H= 3m	H= 3.6m	H= 4.2m	H= 4.8m	H= 5.4m	H= 6m	H= 6.6m		
Umur Timb	-	11 mg	10 mg	9 mg	8 mg	7 mg	6 mg	5 mg	4 mg	3 mg	2 mg	1 mg		
Z / U (%)	0	0.8149663	0.7847796	0.7496377	0.7087163	0.6661049	0.6054983	0.5407228	0.4651257	0.3767804	0.2732868	0.1513519		
1	0.383	0.7776311	0.8164795	0.7940784	0.7561952	0.6664928	0.6492408	0.5799983	0.4986964	0.4035480	0.2922304	0.1614936	6.178584361	
2	1.148	0.8443240	0.8322842	0.8017580	0.7609320	0.6673315	0.6516729	0.5818542	0.5001179	0.4046060	0.2929534	0.1618789	7.047213027	
3	1.913	0.8645782	0.8409555	0.8068479	0.7643917	0.6679878	0.6536368	0.5833975	0.5013266	0.4055217	0.2935881	0.1622211	7.856952776	
4	2.678	0.8745762	0.8464480	0.8104716	0.7670302	0.6685154	0.6552558	0.5847012	0.5023671	0.4063219	0.2941498	0.1625270	8.649864276	
5	3.443	0.8805604	0.8502429	0.8131841	0.7691093	0.6689488	0.6566137	0.5858170	0.5032723	0.4070273	0.2946502	0.1628022	9.434728047	
6	4.208	0.8845498	0.8530234	0.8152910	0.7707899	0.6693112	0.6577688	0.5867829	0.5040668	0.4076537	0.2950991	0.1630510	10.21488757	
7	4.946	0.8873147	0.8550823	0.8169214	0.7721320	0.6696086	0.6587308	0.5875992	0.5047465	0.4081950	0.2954902	0.1632695	10.96459004	
8	5.657	0.8893409	0.8566657	0.8182182	0.7732264	0.6698567	0.6595428	0.5882968	0.5053335	0.4086665	0.2958335	0.1634624	11.68494342	
9	6.368	0.8909416	0.8579640	0.8193107	0.7741676	0.6700741	0.6602617	0.5889213	0.5058636	0.4090956	0.2961480	0.1636403	12.40388848	
10.5	7.256	0.8925247	0.8592914	0.8204559	0.7751736	0.6703108	0.6610524	0.5896153	0.5064582	0.4095808	0.2965060	0.1638439	13.30106304	
12	8.165	0.8938035	0.8603967	0.8214320	0.7760470	0.6705200	0.6617583	0.5902416	0.5069996	0.4100260	0.2968368	0.1640332	14.21659478	
13.5	9.073	0.8948375	0.8613127	0.8222570	0.7767972	0.6707025	0.6623793	0.5896344	0.5064854	0.4084112	0.2956782	0.1630793	15.12432475	
15	10.21	0.8958796	0.8622570	0.8214941	0.7760575	0.6707621	0.6617446	0.5873255	0.5045150	0.4080411	0.2954234	0.1629467	16.25244663	
16	11.21	0.8904074	0.8569599	0.8180502	0.7727984	0.6705651	0.6589744	0.5860287	0.5034141	0.4071642	0.2948004	0.1627711	17.22793404	
17	12.01	0.8882440	0.8548651	0.8160454	0.7709050	0.6704636	0.6573726	0.5857774	0.5032092	0.4070094	0.2946979	0.1627204	18.01730997	
18	12.81	0.8869049	0.8544271	0.8156266	0.7705129	0.6704910	0.6570538	0.5855033	0.5029854	0.4068397	0.2945846	0.1625022	18.81343158	
19	13.56	0.8854917	0.8539236	0.8151481	0.7700663	0.6705052	0.6566897	0.5851888	0.5027264	0.4066409	0.2944498	0.1621094	19.56443997	
20	14.27	0.8840194	0.8533672	0.8146208	0.7695745	0.6705082	0.6562874	0.5848399	0.5014312	0.4056039	0.2940016	0.1620286	20.2687827	

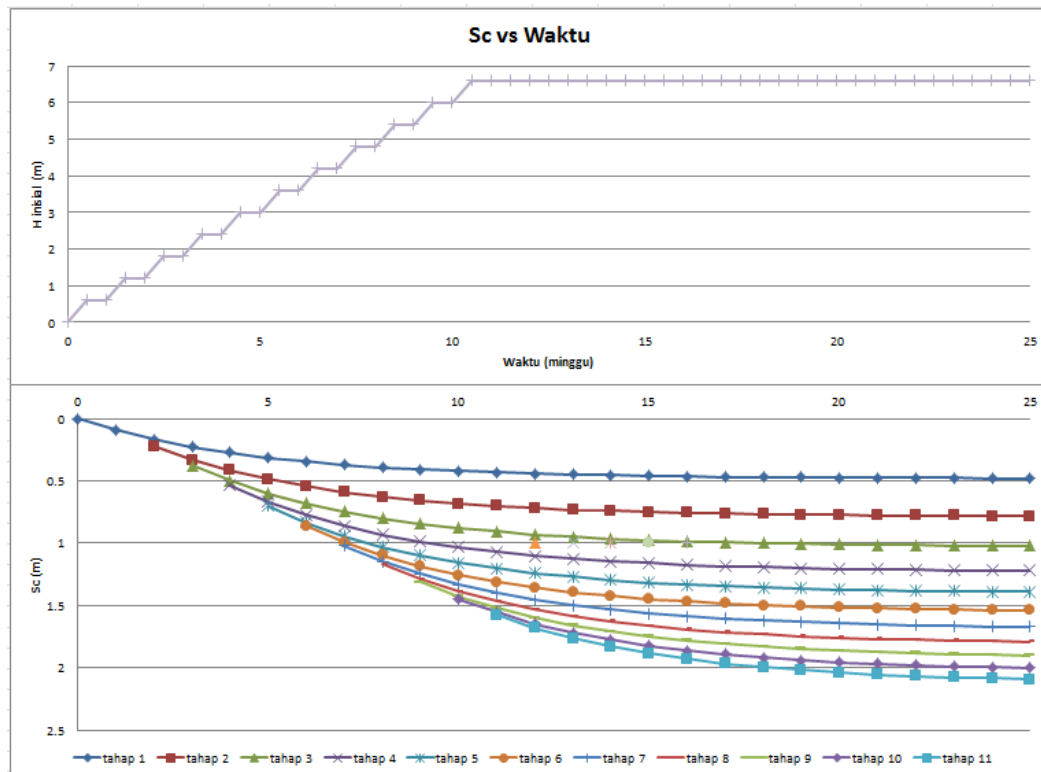
Tabel Peningkatan C_u

Kedalaman	PI	Cu Baru		Cu Pakai	Nspt	Cu Lama	Cu transisi
	%	kg/cm2	kPa	Kpa		Kpa	Kpa
0-1	53.46	0.137852	13.78519	30	5	30	30
1-2	53.46	0.146871	14.68708	24	4	24	24
2-3	53.46	0.155278	15.52783	18.00	3	18	18.00
3-4	53.46	0.163511	16.3511	42	7	42	42
4-5	53.46	0.17166	17.16602	48	8	48	48
5-6	53.46	0.179761	17.97606	24	4	24	24
6-7	21.37	0.244193	24.41931	24.42	3.5	21	22.71
7-8	21.37	0.255394	25.53942	25.54	2.5	15	20.27
8-9	21.37	0.266573	26.65734	26.66	2	12	19.33
9-10.5	23.38	0.27622	27.62196	27.62	3	18	22.81
10.5-12	23.38	0	0	0	1	0	0
12-13.5	23.38	0.30398	30.39802	54	9	54	54
13.5-15	23.38	0	0	0	12	0	0
15-16	23.38	0	0	0	9	0	0
16-17	23.38	0	0	0	6	0	0
17-18	23.38	0	0	0	5	0	0
18-19	23.38	0.371585	37.15846	37.16	5	30	33.58
19-20	23.38	0.382309	38.23088	84	14	84	84

Lampiran 7

Pemampatan Timbunan Bertahap Area 2

Waktu (minggu)	U (%)	Tahapan										
		tahap 1	tahap 2	tahap 3	tahap 4	tahap 5	tahap 6	tahap 7	tahap 8	tahap 9	tahap 10	tahap 11
0	0	0										
1	15.13519	0.09142										
2	27.32868	0.165465	0.223529									
3	37.67804	0.22546	0.330553	0.37636957								
4	46.51257	0.274075	0.417274	0.50019776	0.5381735							
5	54.07228	0.313468	0.487544	0.60053546	0.669269	0.701898						
6	60.54983	0.345389	0.544486	0.68184081	0.7754964	0.834553	0.86325					
7	66.10487	0.371256	0.590627	0.74772472	0.8615746	0.942045	0.993984	1.01964				
8	70.87163	0.392217	0.628017	0.80111261	0.9313264	1.029148	1.099919	1.146355	1.169584			
9	74.96377	0.409203	0.658316	0.8443748	0.9878487	1.099731	1.185762	1.249035	1.291077	1.312313		
10	78.47796	0.422967	0.682868	0.87943188	1.0336508	1.156926	1.255322	1.332239	1.389525	1.427961	1.447533	
11	81.49663	0.434121	0.702764	0.90784011	1.0707662	1.203274	1.31169	1.399662	1.4693	1.521673	1.557098	1.575251
12	84.09023	0.443159	0.718887	0.93086056	1.1008424	1.240831	1.357367	1.454298	1.533945	1.59761	1.64588	1.678737
13	86.31902	0.450483	0.731951	0.94951509	1.1252145	1.271266	1.394381	1.498571	1.586329	1.659145	1.717823	1.762593
14	88.23462	0.456418	0.742538	0.96463173	1.1449643	1.295928	1.424376	1.534448	1.628778	1.709009	1.776121	1.830545
15	89.88126	0.461228	0.751118	0.97688148	1.1609685	1.315913	1.448681	1.56352	1.663176	1.749416	1.823362	1.885609
16	91.29687	0.465125	0.75807	0.98680805	1.1739376	1.332108	1.468377	1.587079	1.691051	1.78216	1.861644	1.930229
17	92.51399	0.468283	0.763703	0.99485205	1.184447	1.345232	1.484338	1.60617	1.713639	1.808693	1.892665	1.966387
18	93.56054	0.470843	0.768269	1.00137051	1.1929633	1.355867	1.497272	1.62164	1.731943	1.830195	1.917803	1.995687
19	94.46051	0.472917	0.771968	1.00665275	1.1998645	1.364484	1.507752	1.634176	1.746776	1.847618	1.938173	2.01943
20	95.23448	0.474597	0.774966	1.01093323	1.2054569	1.371468	1.516246	1.644335	1.758796	1.861738	1.95468	2.038671
21	95.90013	0.475955	0.777391	1.01439782	1.2099847	1.377123	1.523124	1.652563	1.768532	1.873175	1.968053	2.054258
22	96.47267	0.477059	0.779358	1.01720678	1.2136551	1.381707	1.528699	1.659232	1.776423	1.882445	1.978891	2.066891
23	96.96514	0.477954	0.780954	1.01948355	1.21663	1.385422	1.533218	1.664637	1.782818	1.889957	1.987674	2.077128
24	97.38876	0.478679	0.782248	1.02133058	1.2190411	1.388433	1.53688	1.669017	1.788001	1.896045	1.994791	2.085424
25	97.75318	0.479267	0.783296	1.02282736	1.2209966	1.390873	1.539847	1.672567	1.792201	1.900979	2.000559	2.092147



Lampiran 8

Tabel perhitungan jumlah kebutuhan geotekstil

Lapis	Hi	Ti	τ_1	τ_2	Jumlah gtkstl	Mgeotextile	Σ Mgeotekstile	Le	Ld	Lo	Ltotal	Lrencana	Kontrol
	m	m	kN/m ²	kN/m ²	Buah	kNm	kNm	m	m	m	m	m	
1	6	25.28	51.760	30.000	1	1872.592593	1872.593	1.699	28.7	2	32.399	33.000	NOT OK
2	5.7	25.03	49.172	49.172	1	1854.074074	3726.667	1.412	28.4	2	31.812	33.000	NOT OK
3	5.4	24.78	46.584	46.584	1	1835.555556	5562.222	1.491	28.1	2	31.591	33.000	NOT OK
4	5.1	24.53	43.996	43.996	1	1817.037037	7379.259	1.578	27.8	2	31.378	33.000	NOT OK
5	4.8	24.28	41.408	41.408	1	1798.518519	9177.778	1.677	27.5	2	31.177	33.000	NOT OK
6	4.5	24.03	38.820	38.820	1	1780	10957.778	1.789	27.2	2	30.989	33.000	NOT OK
7	4.2	23.78	36.232	36.232	1	1761.481481	12719.259	1.917	26.9	2	30.817	33.000	NOT OK
8	3.9	23.53	33.644	33.644	1	1742.962963	14462.222	2.064	26.6	2	30.664	33.000	NOT OK
9	3.6	23.28	31.056	31.056	1	1724.444444	16186.667	2.236	26.3	2	30.536	33.000	OK
10	3.3	23.03	28.468	28.468	0	0	16186.667	2.439	25.21	2	2.000	2.000	OK
11	3	22.78	25.880	25.880	0	0	16186.667	2.683	25.57	2	2.000	2.000	OK
12	2.7	22.53	23.292	23.292	0	0	16186.667	2.981	25.9	2	2.000	2.000	OK
13	2.4	22.28	20.704	20.704	0	0	16186.667	3.354	26.2	2	2.000	2.000	OK
14	2.1	22.03	18.116	18.116	0	0	16186.667	3.833	26.48	2	2.000	2.000	OK
15	1.8	21.78	15.528	15.528	0	0	16186.667	4.472	26.73	2	2.000	2.000	OK
16	1.5	21.53	12.940	12.940	0	0	16186.667	5.367	26.95	2	2.000	2.000	OK
17	1.2	21.28	10.352	10.352	0	0	16186.667	6.708	21.85	2	2.000	2.000	OK
18	0.9	21.03	7.764	7.764	0	0	16186.667	8.944	21.74	2	2.000	2.000	OK
19	0.6	20.78	5.176	5.176	0	0	16186.667	13.417	21.14	2	2.000	2.000	OK
20	0.3	20.53	2.588	2.588	0	0	16186.667	26.833	21	2	2.000	2.000	OK

Lampiran 9

Tabel Hasil Perhitungan Cerucuk Area 1

No		Cu lama	Cu Transisi	Cu Baru
1	f (kg.cm3)	6	6.5	7
2	T (cm)	111.6646	109.89	108.2745
3	Fm	1	1	1
4	P (kN)	26.74904	27.18069789	27.58656
5	Fk	0.531	0.507	0.487
6	Pmax (kN)	14.200	13.784	13.428
7	Delta MR (kNm)	15362.94	15363	15362.94
8	n	10	10	11
9	Jarak Pemasangan (m)	2	2	2

Tabel Hasil Perhitungan Cerucuk Area 2

No		Cu lama	Cu Transisi	Cu Baru
1	f (kg.cm3)	6	6.5	7
2	T (cm)	111.6646	109.89	108.2745
3	Fm	1	1	1
4	P (kN)	26.74904	27.1807	27.58656
5	Fk	0.531	0.507	0.445
6	Pmax (kN)	12.452	12.362	12.274
7	Delta MR (kNm)	5049.601	5049.6	5049.601
8	n	4	4	4
9	Jarak Pemasangan (m)	3	3	3

Tabel Hasil Perhitungan Kombinasi Cerucuk Area 1

No		Cu lama	Cu Transisi	Cu Baru
1	f (kg.cm3)	6	6.5	7
2	T (cm)	108.2745	109.89	111.6646
3	Fm	1	1	1
4	P (kN)	27.58656	27.1807	26.74904
5	Fk	0.741	0.708	0.679
6	Pmax (kN)	20.440	19.238	18.172
7	Delta MR (kNm)	7681.472	7681	7681.472
8	n	4	4	4
9	Jarak Pemasangan (m)	2	2	2

Tabel Hasil Perhitungan Kombinasi Geotekstil Area 1

Lapis	Hi m	Ti m	τ_1 kN/m ²	τ_2 kN/m ²	Jumlah gtkstl Buah	Mgeotextile kNm	Σ Mgeotextile kNm	Le m	Ld m	Lo m	Ltotal m	Lrencana m	Kontrol
1	9	28.29	77.640	30.000	1	2078.236915	2078.237	1.280	31.03	2	34.310	35.000	NOT OK
2	8.7	28.04	75.052	75.052	1	2059.871442	4138.108	0.918	30.73	2	33.648	35.000	NOT OK
3	8.4	27.79	72.464	72.464	1	2041.505969	6179.614	0.950	30.43	2	33.380	35.000	NOT OK
4	8.1	27.54	69.876	69.876	1	2023.140496	8202.755	0.986	30.13	2	33.116	35.000	NOT OK
5	7.8	27.29	67.288	67.288	1	2004.775023	10207.530	1.024	29.83	2	32.854	35.000	NOT OK
6	7.5	27.04	64.700	64.700	1	1986.40955	12193.939	1.064	29.53	2	32.594	35.000	NOT OK
7	7.2	26.79	62.112	62.112	1	1968.044077	14161.983	1.109	29.23	2	32.339	35.000	NOT OK
8	6.9	26.54	59.524	59.524	1	1949.678604	16111.662	1.157	28.93	2	32.087	35.000	NOT OK
9	6.6	26.29	56.936	56.936	1	1931.313131	18042.975	1.210	29.31	2	32.520	35.000	NOT OK
10	6.3	26.04	54.348	54.348	1	1912.947658	19955.923	1.267	29.01	2	32.277	35.000	NOT OK
11	6	25.79	51.760	51.760	1	1894.582185	21850.505	1.331	29.37	2	32.701	35.000	NOT OK
12	5.7	25.54	49.172	49.172	1	1876.216713	23726.722	1.401	29.71	2	33.111	35.000	OK
13	5.4	25.29	46.584	46.584	0	0	23726.722	1.478	30.03	2	2.000	2.000	OK
14	5.1	25.04	43.996	43.996	0	0	23726.722	1.565	30.33	2	2.000	2.000	OK

Tabel Hasil Perhitungan Kombinasi Cerucuk Area 2

No		Cu Transisi
1	f (kg.cm3)	6.5
2	T (cm)	109.89
3	Fm	1
4	P (kN)	27.1806979
5	Fk	0.814
6	Pmax (kN)	22.132
7	Delta MR (kNm)	7574.4
8	n	4
9	Jarak Pemasangan (m)	4

Tabel Hasil Perhitungan Kombinasi Geotekstil Area 2

Lapis	Hi	Ti	τ_1	τ_2	umlah gtkst/	geotextil	Σ Mgeotekstile	Le	Ld	Lo	Ltotal	L rencana	
	m	m	kN/m2	kN/m2	Buah	kNm	kNm	m	m	m	m	m	
1	6	25.28	51.760	30.000	1	1872.593	1872.593	1.699	25.05	2	28.749	30.000	NOT OK
2	5.7	25.03	49.172	49.172	1	1854.074	3726.667	1.412	24.75	2	28.162	30.000	NOT OK
3	5.4	24.78	46.584	46.584	1	1835.556	5562.222	1.491	25.2	2	28.691	30.000	NOT OK
4	5.1	24.53	43.996	43.996	1	1817.037	7379.259	1.578	24.9	2	28.478	30.000	NOT OK
5	4.8	24.28	41.408	41.408	1	1798.519	9177.778	1.677	25.33	2	29.007	2.000	OK
6	4.5	24.03	38.820	38.820	0	0	9177.778	1.789	25.03	2	2.000	2.000	OK
7	4.2	23.78	36.232	36.232	0	0	9177.778	1.917	25.44	2	2.000	2.000	OK

DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M. 1988. *Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik Jilid 1*. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Das, Braja M. 2010. *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning.
- Naval Facilities. 1971. *Design Manual: Foundations, and Earth Structures (NACFAC DM-7)*. Alexandria: US Department of the Navy.
- Mochtar, Indrasurya B. 2000. *Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils)*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
- Mochtar, Indrasurya B. 2011. *Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan untuk Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi di Atas Tanah-Tanah Bermasalah Jilid 2*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS
- Mochtar, Noor Endah. 2012. *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah*. Surabaya: ITS Press.
- Wahyudi, Herman. 2012. *Daya Dukung Pondasi Dangkal*. Surabaya: ITS Press.

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Sampang, pada 11 Agustus 1992 dengan nama lengkap Alfin Kafia Rahman. Penulis merupakan anak keempat dari 4 bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh penulis, yaitu TK PGRI Omben, SD Negeri Omben II, SMP Negeri 1 Sampang, SMA Negeri 5 Surabaya. Setelah lulus dari SMA Negeri 5 Surabaya, Penulis mengikuti Program Kemitraan dan Mandiri ITS dan diterima di jurusan Teknik Sipil FTSP – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2011 dan terdaftar dengan NRP 3111100154.

Selama berkuliah di Jurusan Teknik Sipil ITS, Penulis sangat tertarik pada Bidang Studi Geoteknik, terutama pada perbaikan tanah dan pondasi. Oleh karena itu pada Tugas Akhir ini penulis mengambil topik bahasan mengenai perbaikan tanah dan pondasi. Penulis sempat aktif sebagai pengurus Dana dan Usaha di Himpunan Teknik Sipil, serta aktif di beberapa kegiatan yang diselenggarakan oleh jurusan, fakultas, maupun institut. Penulis sangat berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta bagi penulis sendiri. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis, dapat melalui email : **alfinkr@me.com**